

# 工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

114年度節水教育訓練

## 冷卻循環水旁流回收技術應用

工業技術研究院 材料化工研究所 水科技組

趙淑如 研究員

shujuchao@itri.org.tw

2025/07/09

# 工研院 材化所 水科技研究組



組長  
梁德明博士

## 水科技研究組



副組長  
張冠甫博士



副組長  
陳幸德博士

### 水資源技術與 材料研究室

### 水處理模組及 產品研究室

### 水系統研發與 應用研究室

### 水系統整合與 工程化研究室



室經理  
劉柏逸博士



室經理  
林冠佑博士



室經理  
謝欣如博士



室經理  
張婷婷博士



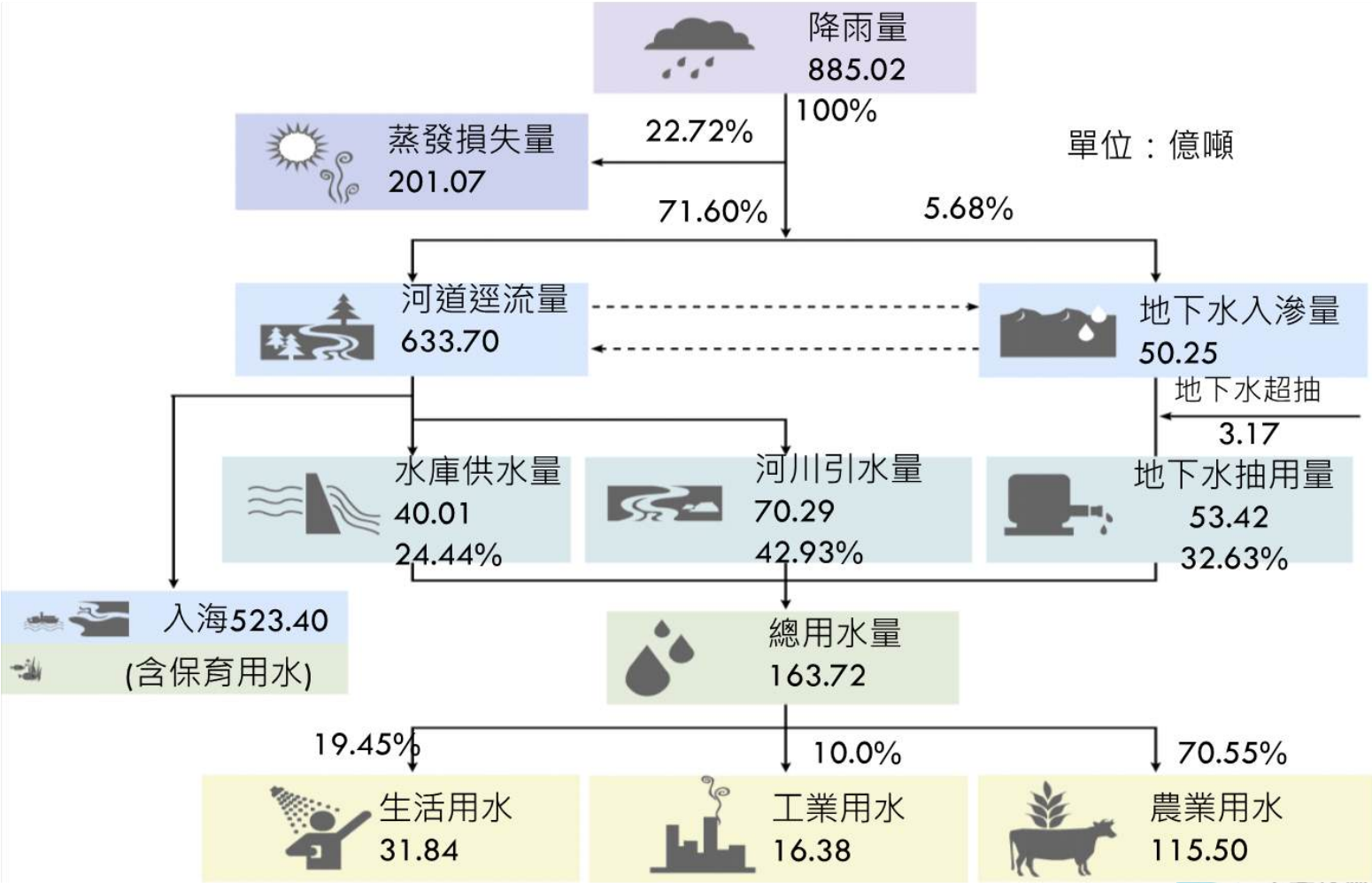
# 臺灣水資源利用

(經濟部水利署，112年水利統計)

平均年降雨：  
全球陸地：990毫米  
臺灣：2,500毫米 (全球平均的2.5倍)



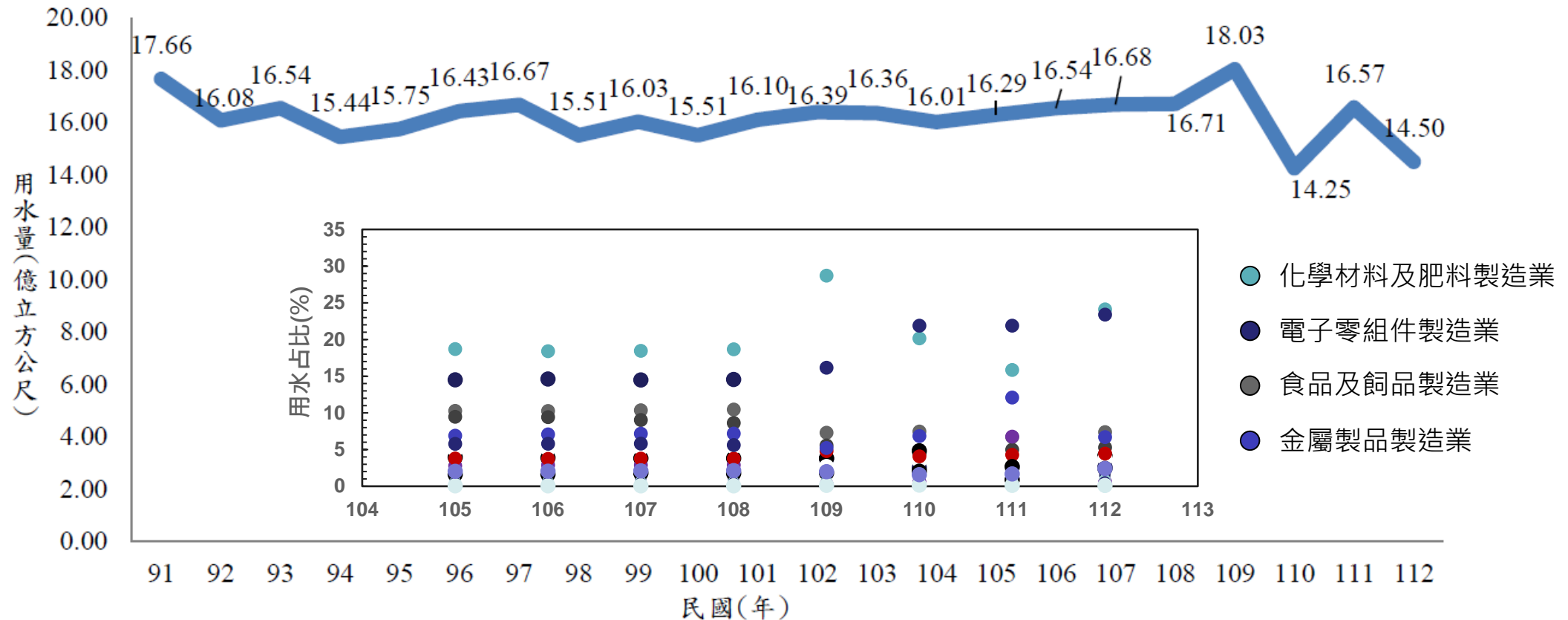
平均年總降雨量：885.02億噸  
平均年總用水量：163.72億噸  
(扣除蒸發、入滲和河道逕流量)



102~111年臺灣水資源利用平均值

# 工業總用水量歷年變化

(經濟部水利署，112年水利統計)



說明：

1. 109 年以後改採當年度之單位面積日用水量計算。
2. 112 年工業用水納入再生水廠水量

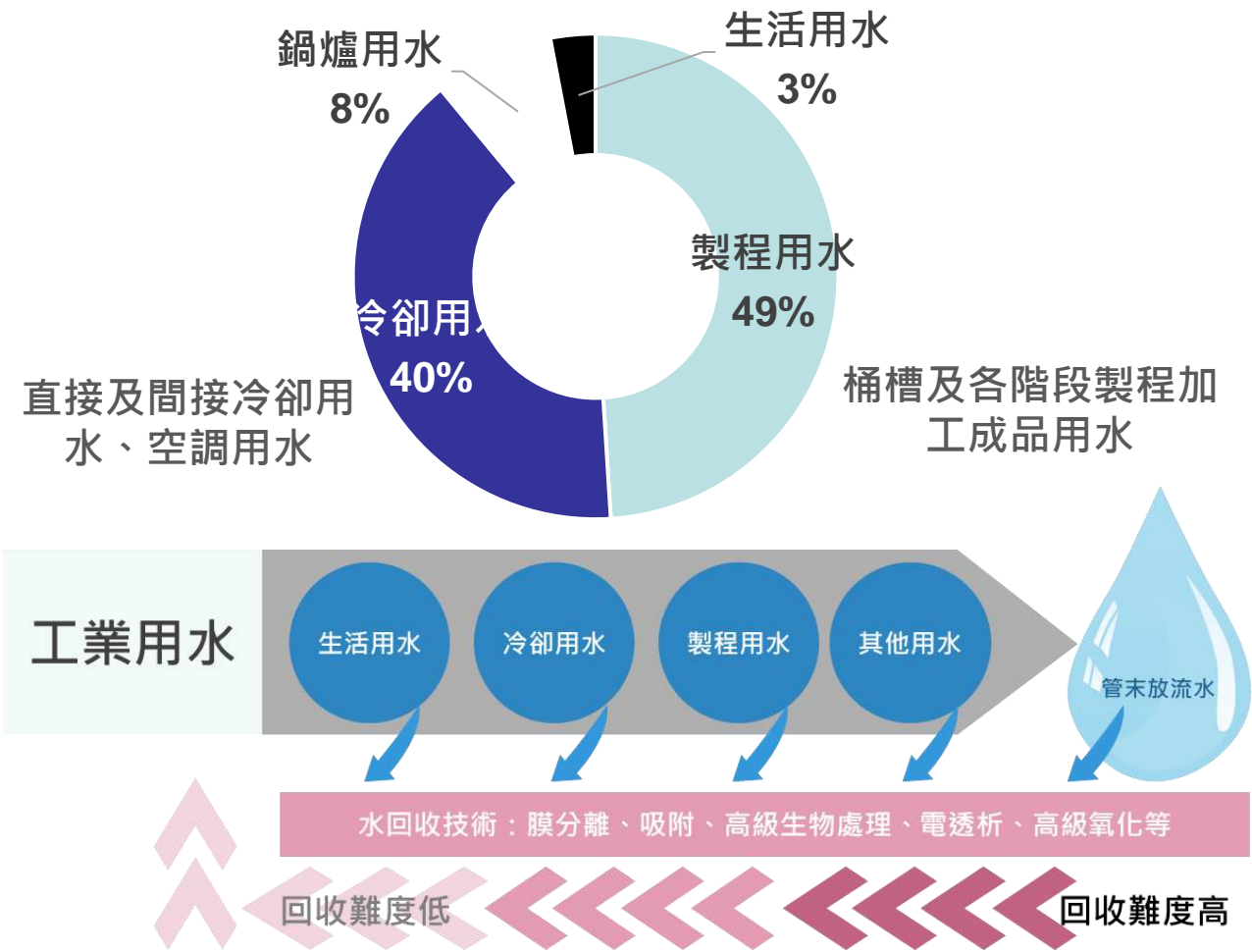


# 工業用水現況及可回收性

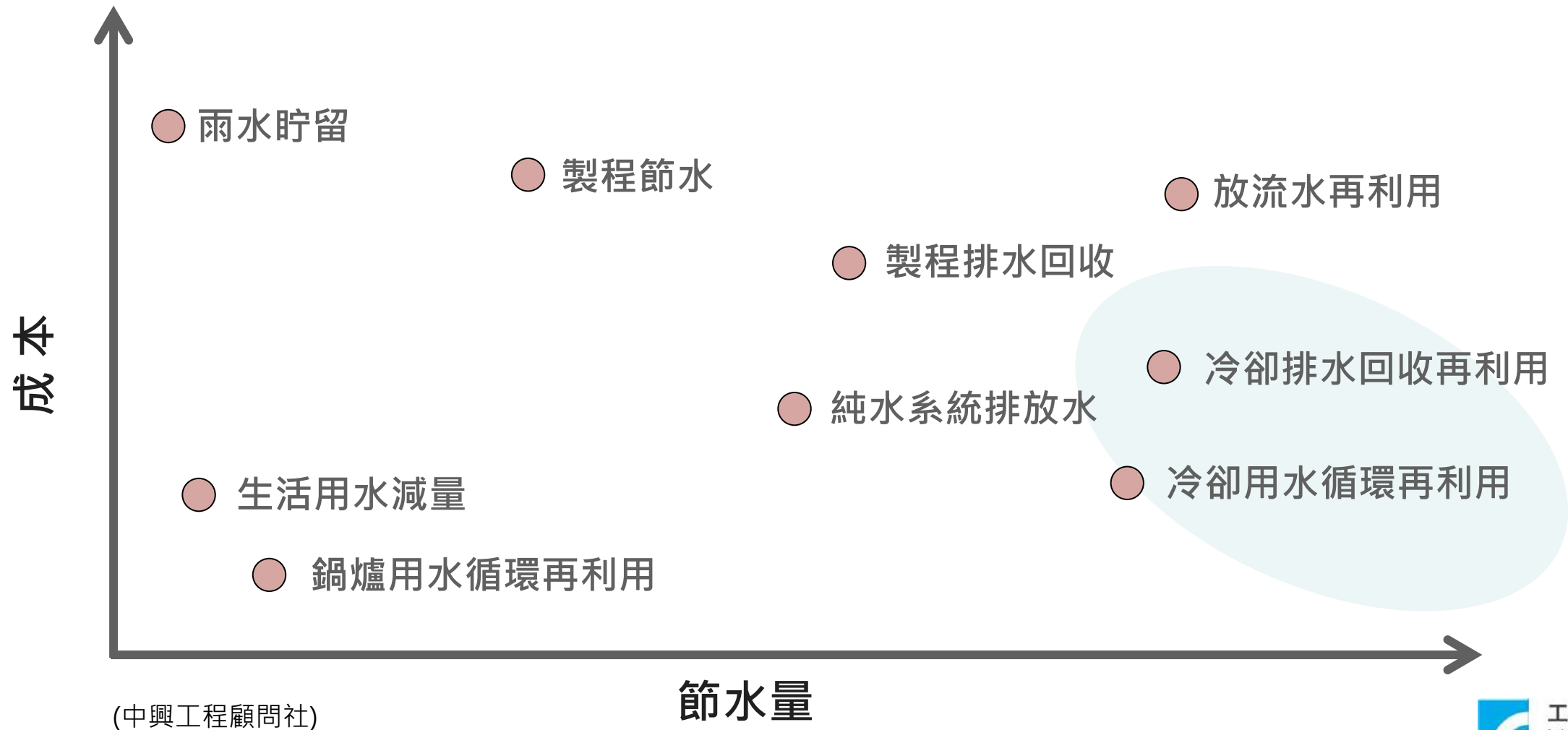
全球正面臨水資源短缺風險，台灣產業須持續提高用水重複利用率，降低總用水量，不但符合循環經濟概念，更將帶來龐大商機。

行業別	用水量(Mm³)	占比
化材業	332.77	24.12%
電子業	322.89	23.41%
食品業	101.86	7.38%
金屬製造業	92.56	6.71%
紡織業	73.19	5.31%
非金屬礦物業	61.60	4.47%
石油業	57.40	4.16%
塑膠業	52.39	3.80%
基本金屬業	48.74	3.53%
造紙業	36.17	2.62%
小計	1179.6	85.51%

(經濟部水利署，112年水利統計)



# 節水成本效益分析



# 冷卻水塔運轉說明

- ◆ 冷卻水塔補水量占大樓用水量10~50%。
- ◆ 在蒸發散熱的過程中，水中鈣鎂離子濃度持續增加而造成結垢，水垢厚度每增加0.2 mm，耗電量增加7~17%，衍生高能耗及耗水量大的問題。

- 1 需要大量補水/排水
- 2 需加入除垢及殺菌劑
- 3 砂濾塔處理無法去除離子

自來水 ( $> 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ )

冷卻補充水  
(make-up water)

透過水位浮球控制補水

蒸散(Air)

Hot water

抗垢劑、抑菌劑

Cooling water

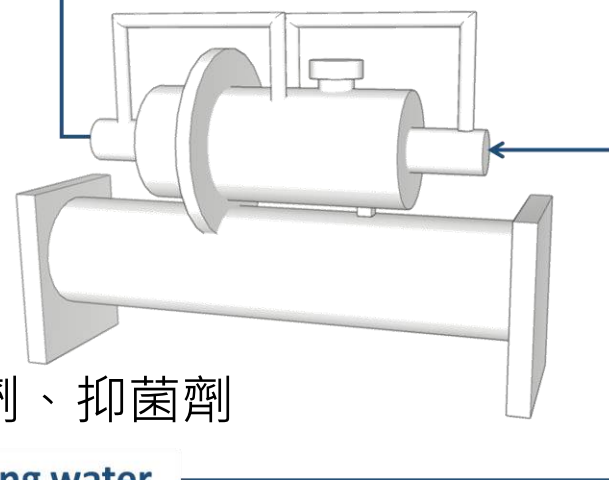
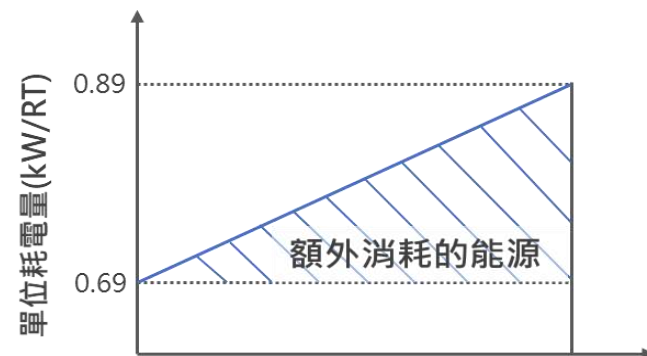
冷卻排水  
(blow down)

排水 ( $> 1,200 \mu\text{S}/\text{cm}$ )  
導電度控制排水

水塔循環水量約8~13 LPM/RT( $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ )

不同冰水系統的性能指標

	良好	尚可	不良	需要改進
kW/RT	$< 0.70$	$0.70 \sim 0.85$	$0.85 \sim 1.00$	$> 1.00$



# 冷卻水塔循環水水質指標

藍氏飽和指數(Langelier Saturation Index, LSI)

$$LSI = pH - pH_s$$
$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = \frac{(\log_{10}[TDS] - 1)}{10}$$

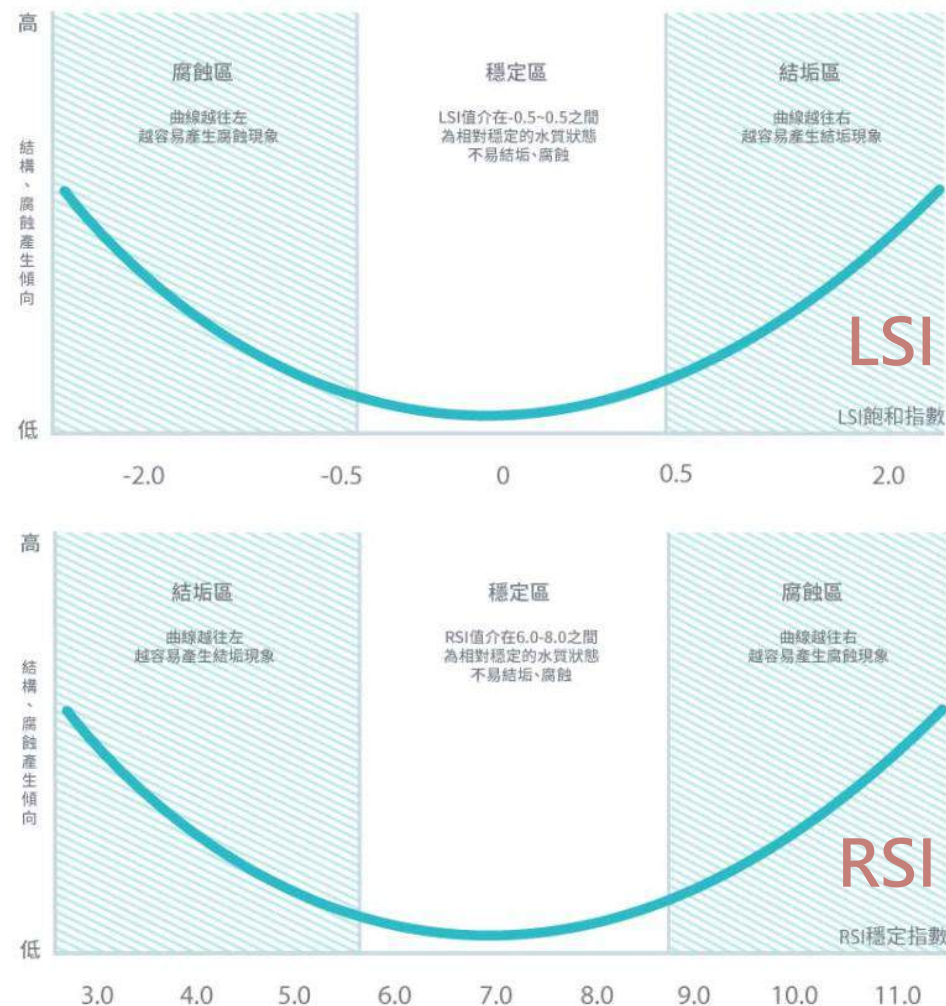
$$B = -13.12 \times \log_{10}(Temp + 273) + 34.55$$

$$C = \log_{10}[Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3] - 0.4$$

$$D = \log_{10}[Alkalinity \text{ as } CaCO_3]$$

萊氏穩定指數(Ryznar stability index, RSI)

$$RSI = 2pH_s - pH$$



問題點：硬度(鈣鎂)、鹼度(碳酸鹽類)、導電度(或TDS)、pH值、微生物(生物膜)、藻類



# 冷卻排水回收處理的目標

(資料來源：JRA-GA-02-1994)

水質項目		冷卻循環水	冷卻補充水
基本項目	pH	6.5~8.2	6.0~8.0
	導電度( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	800	300
	$\text{Cl}^-$ (mg/L)	200	50
	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	200	50
	鹼度(mg/L)	100	50
	總硬度(mg/L)	200	70
	鈣硬度(mg/L)	150	50
	二氧化矽(mg/L)	50	30
參考項目	鐵(mg/L)	1	0.3
	銅(mg/L)	0.3	0.1
	$\text{S}^{2-}$ (mg/L)	N.D.	N.D.
	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	1	0.1
	氯化物(mg/L)	0.3	0.3
	$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	4	4
	萊氏穩定指數(RSI)	6~7	-

## 導電度

- 逆滲透(RO)
- 薄膜過濾(NF)
- 電容去離子(CDI)
- 電透析(ED)

## 硬度

- 離子交換樹脂
- 流體化床結晶
- 電容去離子(CDI)
- 電透析(ED)

## 二氧化矽

- 離子交換樹脂
- 薄膜過濾(UF)
- 高效能逆滲透(HERO™)

## 有機物

- 活性碳吸附
- 臭氧氧化
- 生物處理(BioNET)
- 高級氧化處理

# 冷卻排水回收技術

## 硬度/SiO<sub>2</sub>

- ⇒ 離子交換樹脂
- ⇒ 流體化床技術
- ⇒ 高效能逆滲透

## 有機物/SS

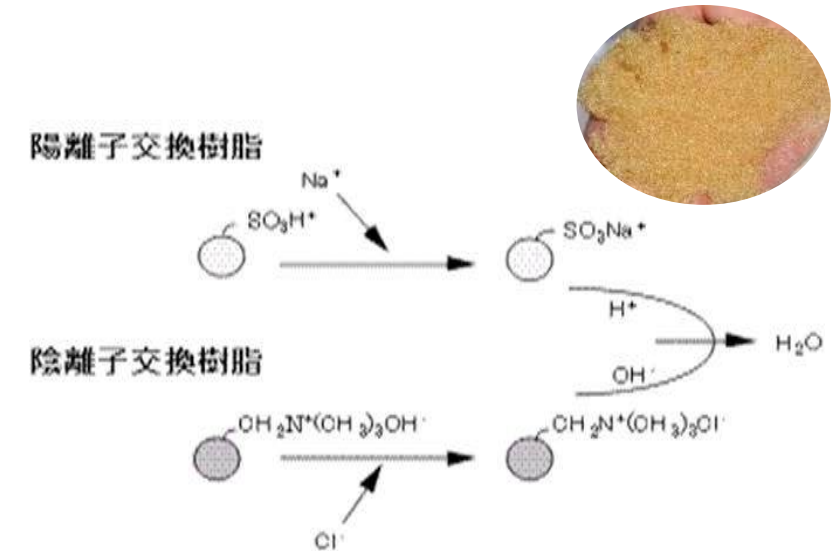
- ⇒ BioNET®技術
- ⇒ 活性碳吸附
- ⇒ 高級氧化技術

## 導電度/硬度

- ⇒ 薄膜分離技術
- ⇒ 電容去離子
- ⇒ 電透析技術

# 離子交換樹脂(I)

- ◆ 目的：藉由具有離子交換特性之材料或交換樹脂，將水溶液中之離子進行可逆之交換反應，而將溶液中之帶電荷離子去除(軟化)。
- ◆ 機制：以苯乙烯/二乙烯苯單體聚合成微球骨架，於微球骨架上接枝特殊官能基團，依官能基對液體中陰陽離子選擇性差異，可使陰陽離子吸附於樹脂上，並交換出既有離子。



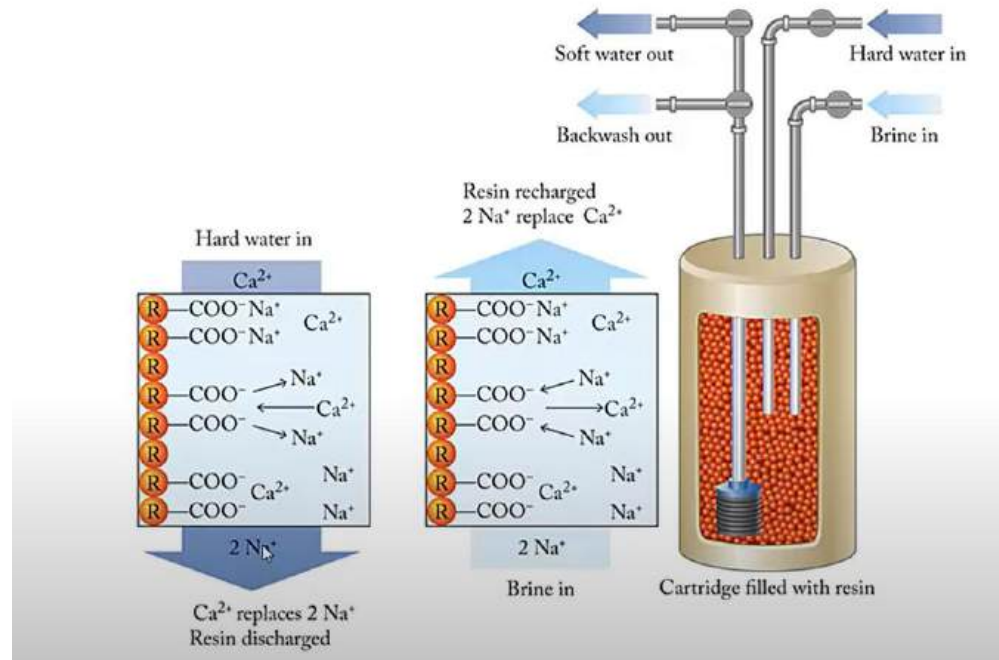
## 離子交換樹脂種類與應用 (吸附交換，低濃度離子脫除)

種 類	官能基	應 用
強酸性陽離子交換樹脂	$\sim\text{SO}_3^-$	純水/軟水
弱酸性陽離子交換樹脂	$\sim\text{COO}^-$	鹼性廢液去除重金屬
強鹼性陰離子交換樹脂	$\sim\text{NR}_3^+$	純水
弱鹼性陰離子交換樹脂	$\sim\text{NHR}_2^+$	酸吸附純化
螯合樹脂	具螯合性官能基	除硼、特定金屬離子



# 離子交換樹脂(II)

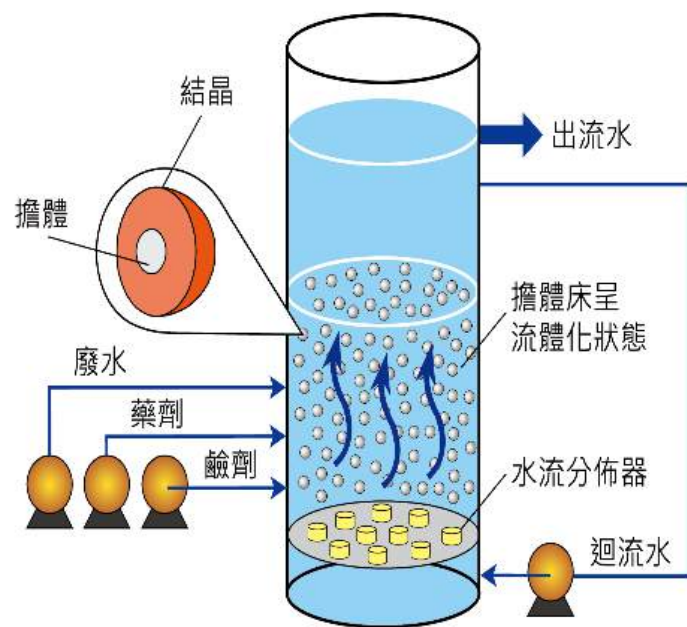
- ◆ 應用：可處理**硬度**或**二氧化矽**等其他物質，處理水質TDS不宜超過500 mg/L，可單獨搭配活性碳槽應用或設於RO後段處理RO出水以獲更低電導度之純水。
- ◆ 飽和樹脂要進行再生(酸、鹼或鹽類)，後續要考量**廢液處理**問題。



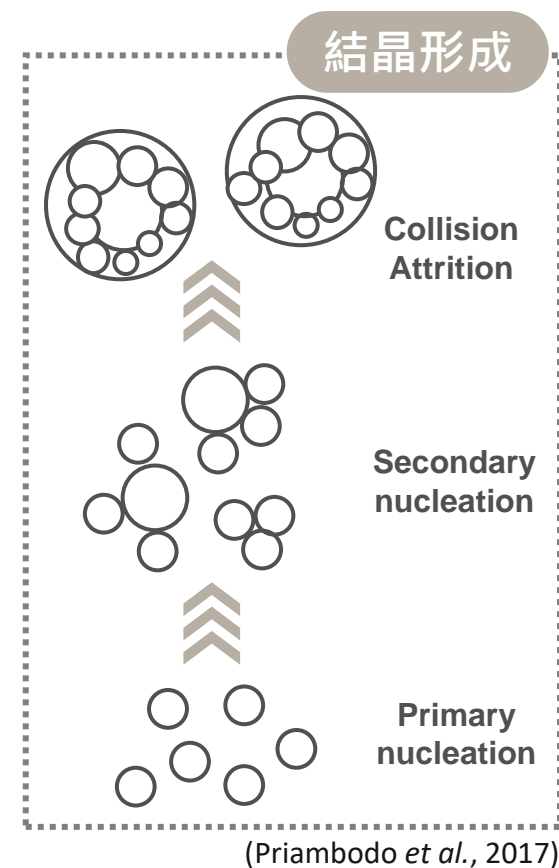
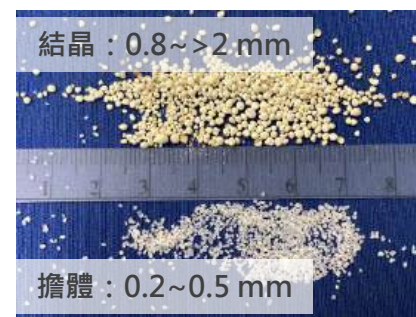
項目	樹脂塔 (離子交換樹脂)
材料形貌	顆粒
離子脫除驅動力	離子間引力
廣泛用途	純水製造/軟水
使用離子濃度範圍	1~500 mg/L
產出水質離子濃度	<1 mg/L
產出廢液	再生廢液(酸鹼、鹽水)
水回收率	90%

# 流體化床結晶 (Fluidized Bed Crystallizer, FBC)

- ◆ 目的：藉由碳酸鈣結晶生成，降低水中鈣鎂離子含量，降低冷卻水的**硬度**。
- ◆ 機制：在流體化床中投入矽砂擔體(0.2~0.5mm)，使水中硬度離子於其表面發生異相結晶，透過pH值控制和加藥，使  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  在晶核表面沉澱為碳酸鹽或氫氧化物。
- ◆ 軟化後水流出，碳酸鈣結晶易於進行固液分離，晶體含水率約10%。



結晶體：碳酸鈣( $\text{CaCO}_3$ )、氟化鈣( $\text{CaF}_2$ )、冰晶石( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )及鳥糞石( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4$ )

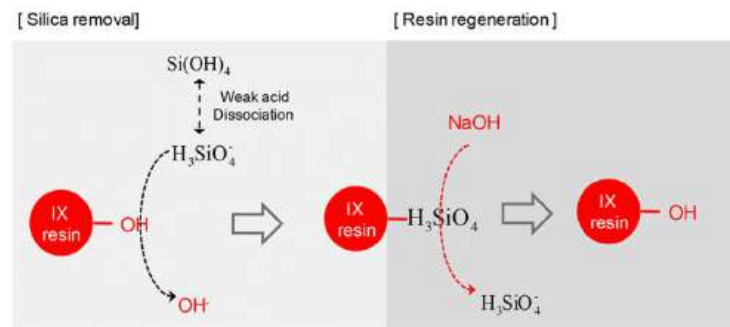
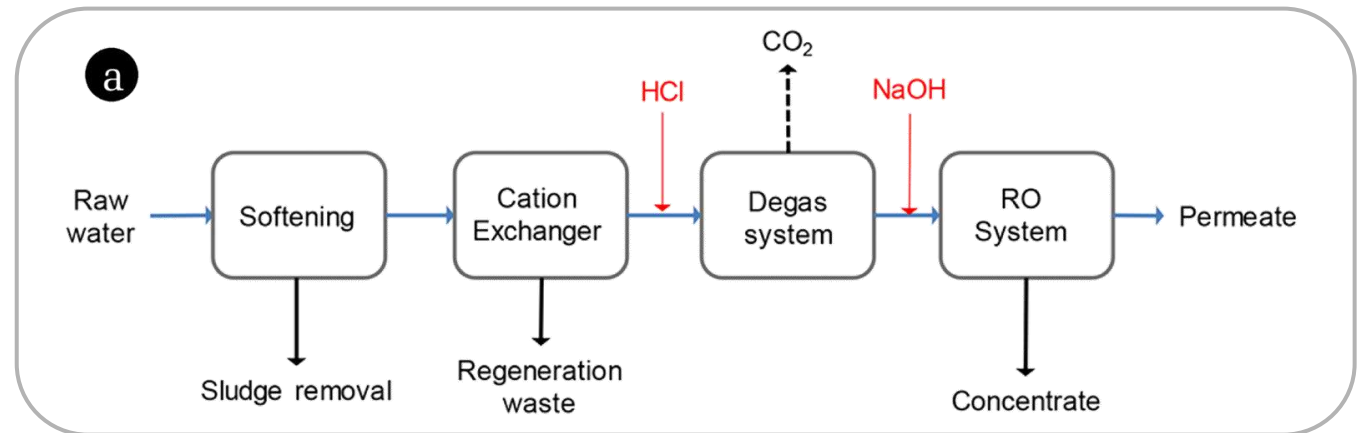
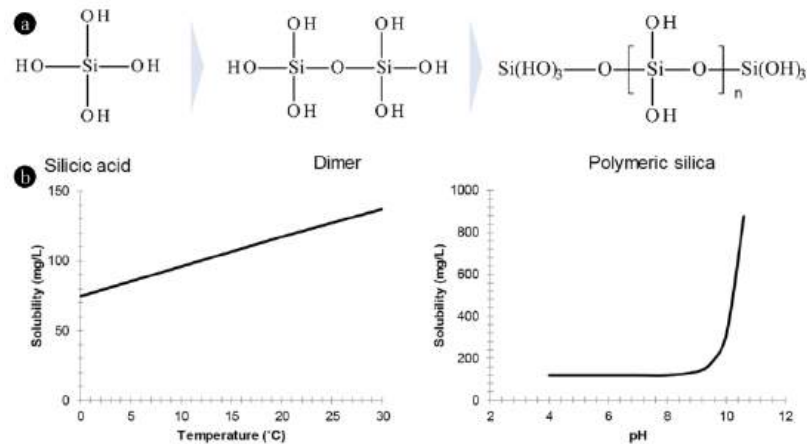




# 高效能逆滲透(HERO™)

- ◆ 目的：透過HERO系統去除冷卻水中**二氧化矽**含量。
- ◆ 機制：使用弱酸性陽離子交換樹脂去除水中的鈣鎂離子，接著再去除溶解CO<sub>2</sub>。脫碳作用可降低水的緩衝能力，從而減少為提升pH所需的NaOH量，接著加入NaOH，將pH值提升至≥9，使其進入RO單元。

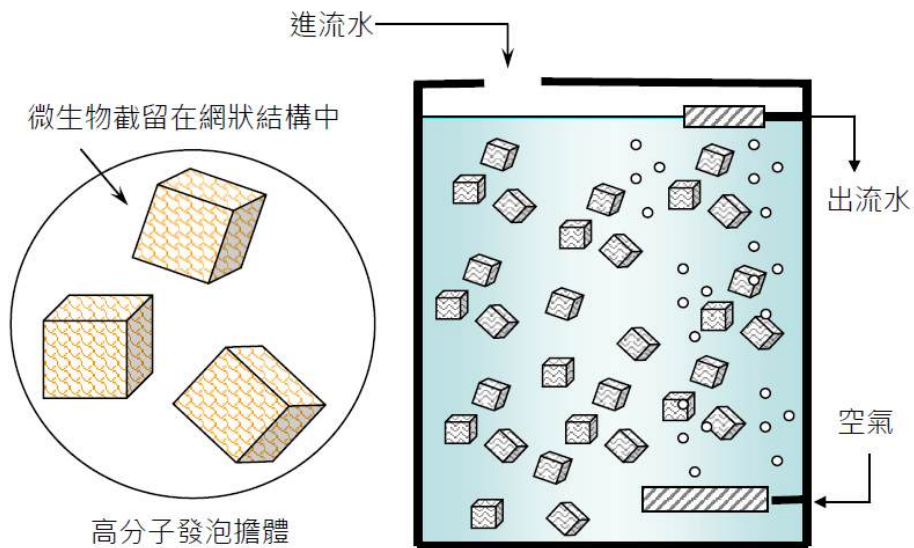
(Chen et al., 2017; Park et al., 2020)



也可使用-OH基的強鹼性陰離子交換樹脂去除SiO<sub>2</sub>

# BioNET®處理技術

- ◆ 目的：國內所開發高效率生物處理技術，可廣泛應用於各種低負荷之COD處理、氨氮硝化與有效攔截SS。作為前處理程序，去除冷卻水中少量**有機物**。
- ◆ 機制：以多孔性生物擔體為核心的生物處理系統，採用可以壓縮多孔性擔體作為反應槽介質，提高懸浮固體物被攔截的機會，同時也提供大的比表面積供微生物附著生長，而達到SS及有機物去除目的。



## BioNET®技術特點

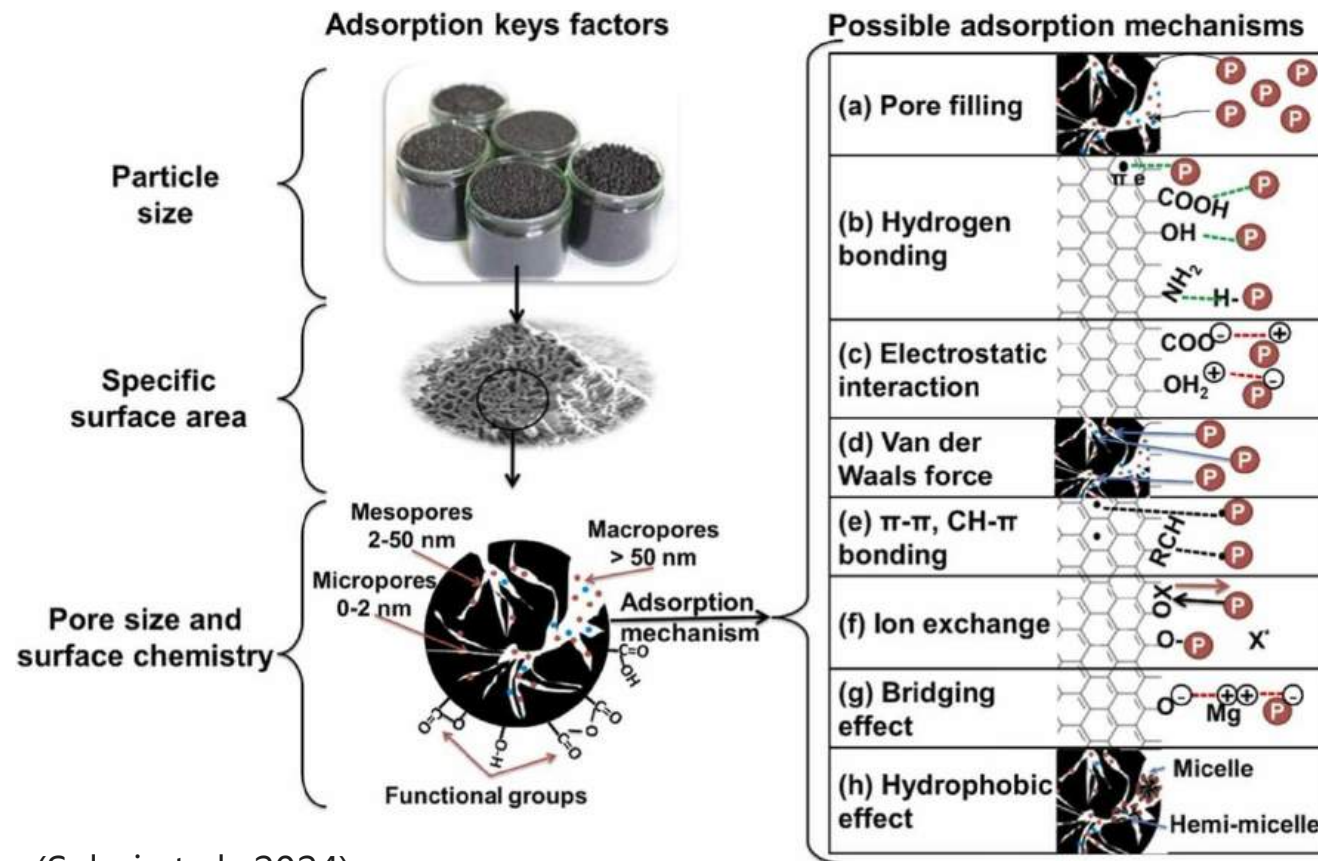
- ✓ 比表面積大：可累積大量微生物
- ✓ 半浮動床設計：可兼具過濾功能
- ✓ 可擠壓：反洗簡單有效
- ✓ 開放孔洞：水流質傳效果佳

## BioMF：BioNET+MF

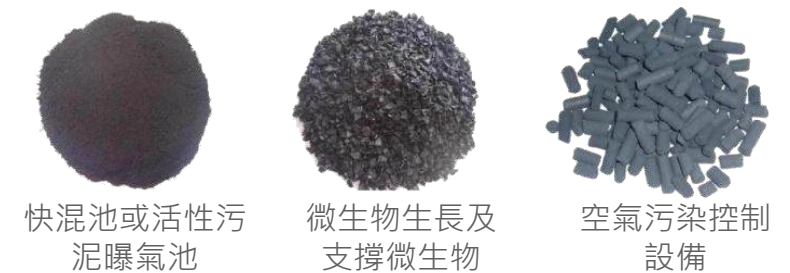
結合「生物濾床」和「薄膜分離」之廢污水生物處理系統，亦可以應用於水回收前處理，可有效降低薄膜積垢潛勢。

# 活性碳吸附

- 目的：活性碳是一種多孔性具有極大表面積的材料，當空氣或水中的微量**有機污染物**接觸活性碳時，會被活性碳所吸引，進而停留在碳表面，達到去除污染的目的。



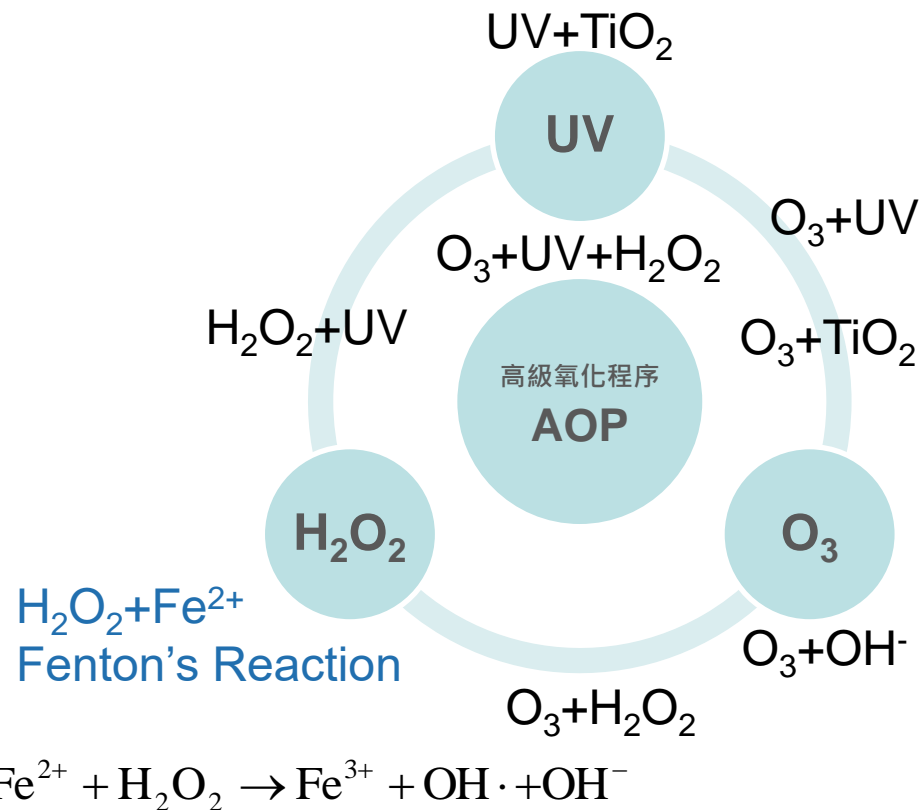
(Selmi et al., 2024)



活性碳再生	
物理處理	熱裂解 (800~1000°C)
	微波破壞
化學處理	酸、鹼、溶劑、氧化再生
	濕式氧化再生(150~250°C)
	光電化學(EC or UV)
生物處理	生物處理

# 高級氧化技術

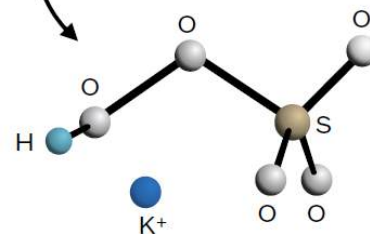
- ◆ 目的：高級氧化程序即利用具高氧化能力的氫氧自由基(hydroxyl radicals)氧化水中**微量有機物**(<10 mg/L)或有毒物質(如EDCs, 0.001 mg/L等級)。
- ◆ 應用：最後階段處理或做薄膜前處理(有機物堵塞↓)



## 過氧單硫酸鹽(peroxymonosulfate, PMS)

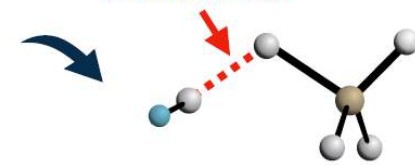
2KHSO<sub>5</sub>·KHSO<sub>4</sub>·K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Oxone)

Active part of Oxone



Fe(II)

O-O bond cleavage



Sulfate radical

Hydroxyl radical



自由基	氧化電位(V)	半生期(μs)
SO <sub>4</sub> · <sup>-</sup>	2.5~3.1	30~40
·OH	1.9~2.7	0.02



# 薄膜過濾技術

薄膜孔徑可依大小區分為MF、UF、NF與RO

通常以分子截留量(molecular weight cut-off, MWCO) 作為界定孔徑之單位(Da)

Da為1個原子質量單位Dalton之簡寫，1 Da=1個碳12原子核質量之1/12，約等於 $1.661 \times 10^{-27}$  kg

污水處理

## MF

0.1 - 3 bar

0.1 - 5  $\mu\text{m}$

通常 > 0.01  $\mu\text{m}$

對分子大小篩除(篩分)之方式進行過濾

飲用水  
排水再利用  
RO前處理

## UF

2 - 10 bar

20 nm - 0.1  $\mu\text{m}$

MWCO: 1,000-300,000 Da

對分子大小篩除(篩分)之方式進行過濾

軟化  
有毒物質去除

## NF

5 - 30 bar

$\gg 1$  nm

MWCO < 500 Da

電性排除+篩分，去除水中二價離子

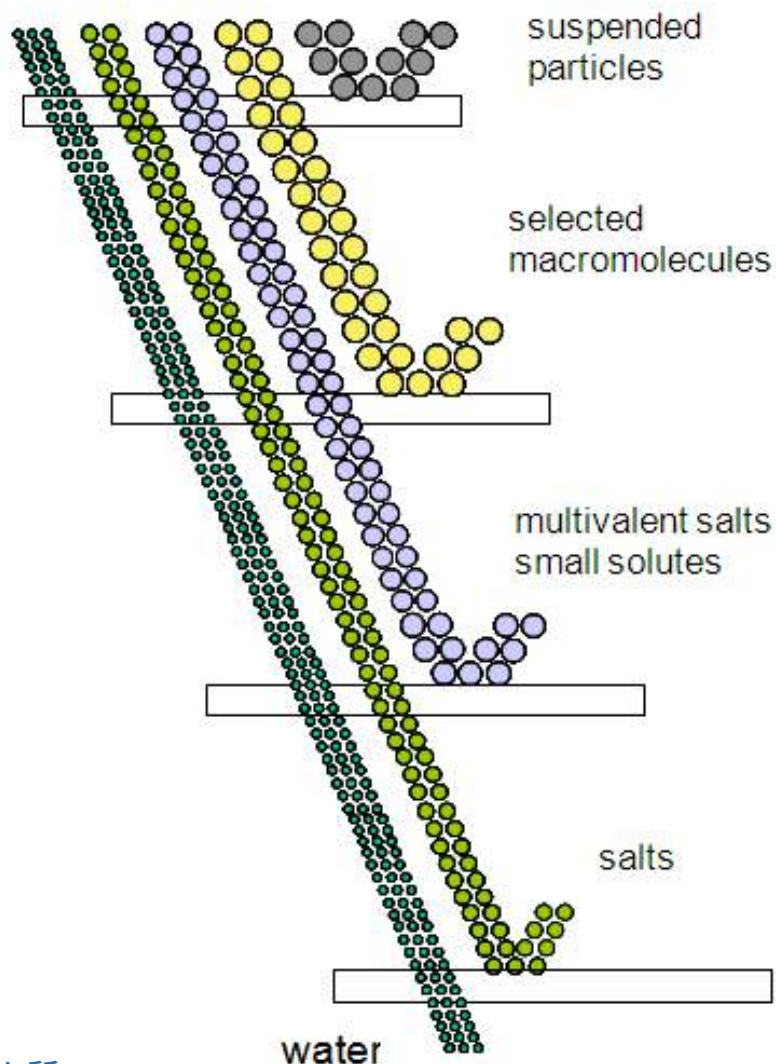
超純水  
海水淡化  
先進水處理

## RO

10 - 100 bar

0.1 - 1 nm (close)

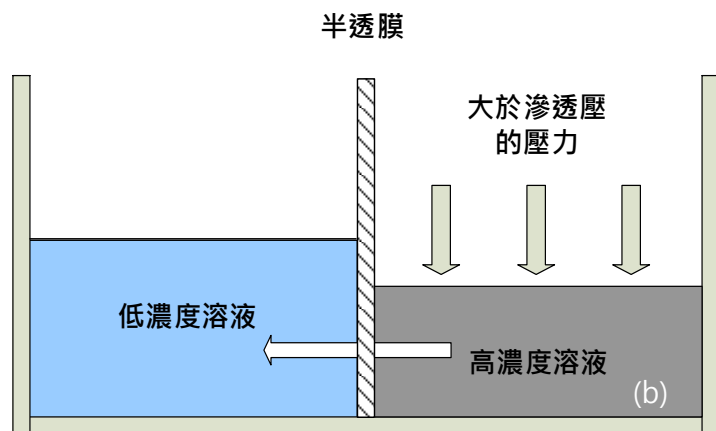
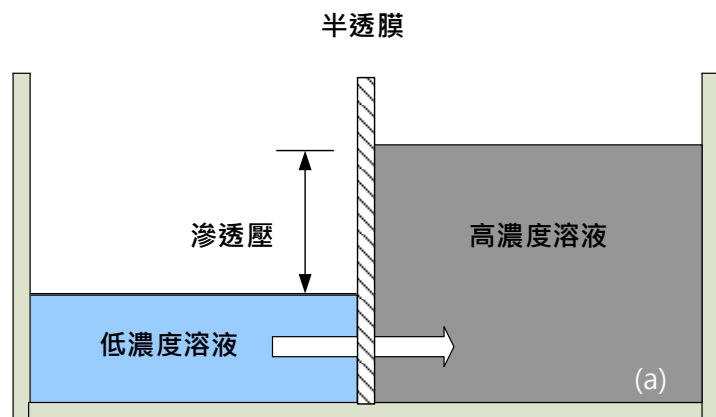
視為無孔洞薄膜，可截流水分子以外之物質





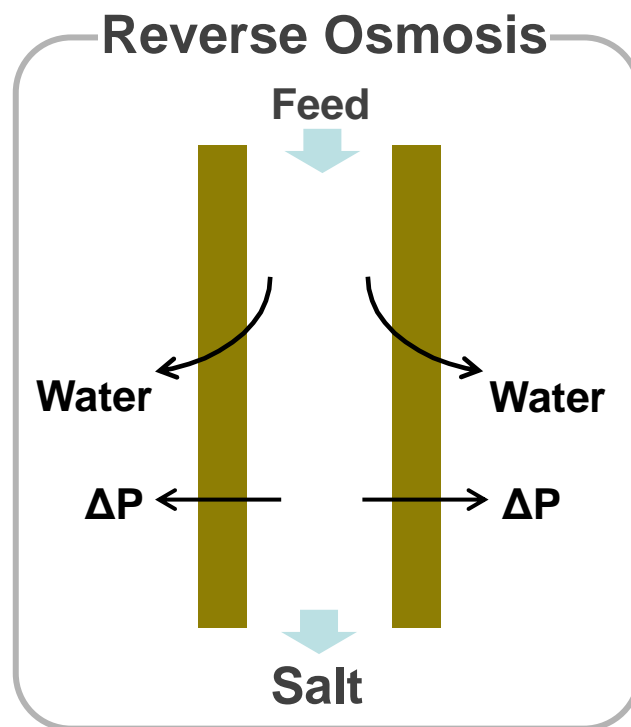
# 逆滲透(reverse osmosis, RO)

程序	操作壓力(kg/cm <sup>2</sup> )
NF	4~15
RO	>15

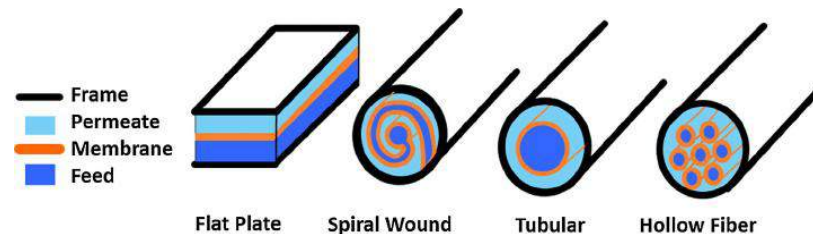


所施加之壓力 > 滲透壓

加壓使水分子會往與一般滲透方向之反向流動，而自高濃度一側流向低濃度一側，這種現象即稱為「逆滲透」。

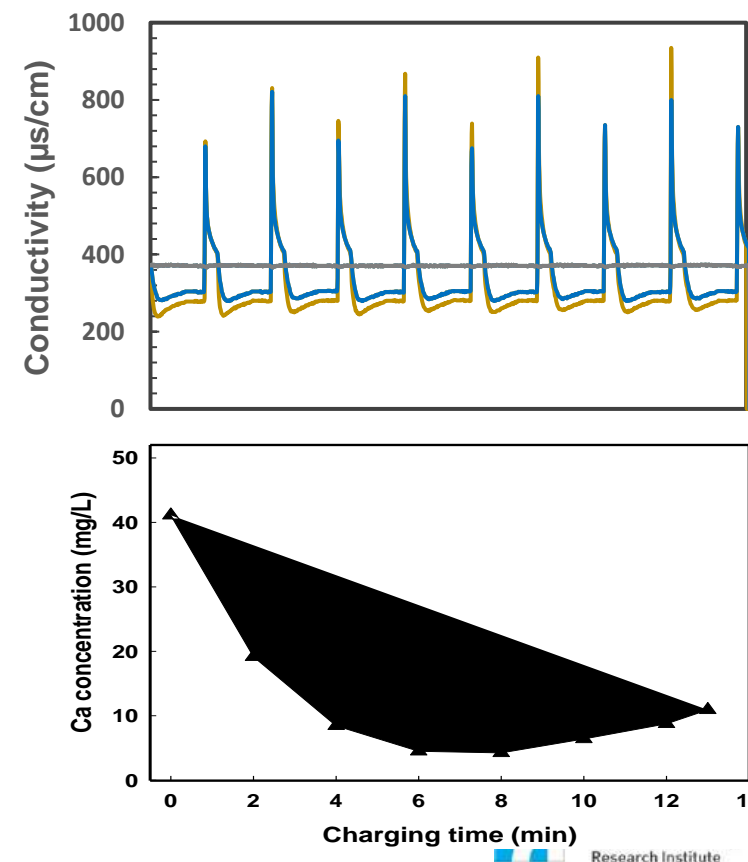
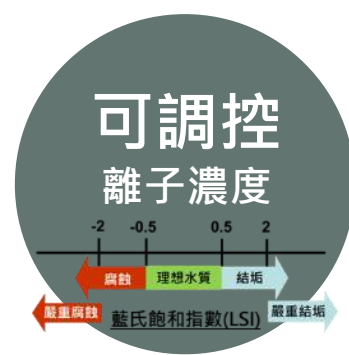
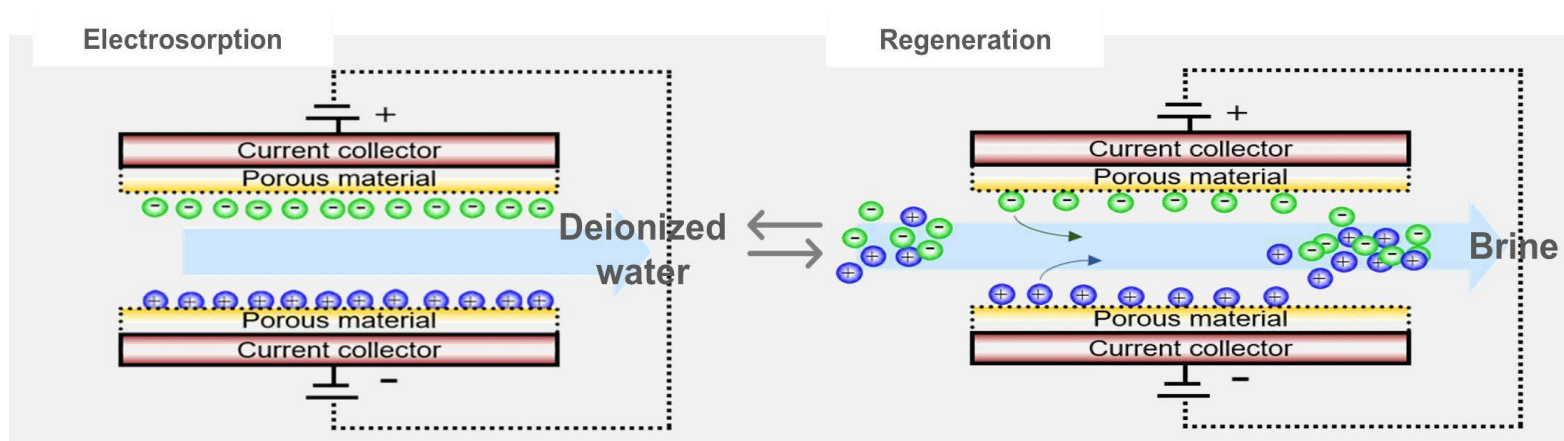


- ① 平板式薄膜 (flat plate)
- ② 螺旋捲式薄膜 (spiral wound)
- ③ 管式薄膜 (tubular)
- ④ 中空纖維式薄膜 (hollow fiber)



# 電容去離子(capacitive deionization, CDI)

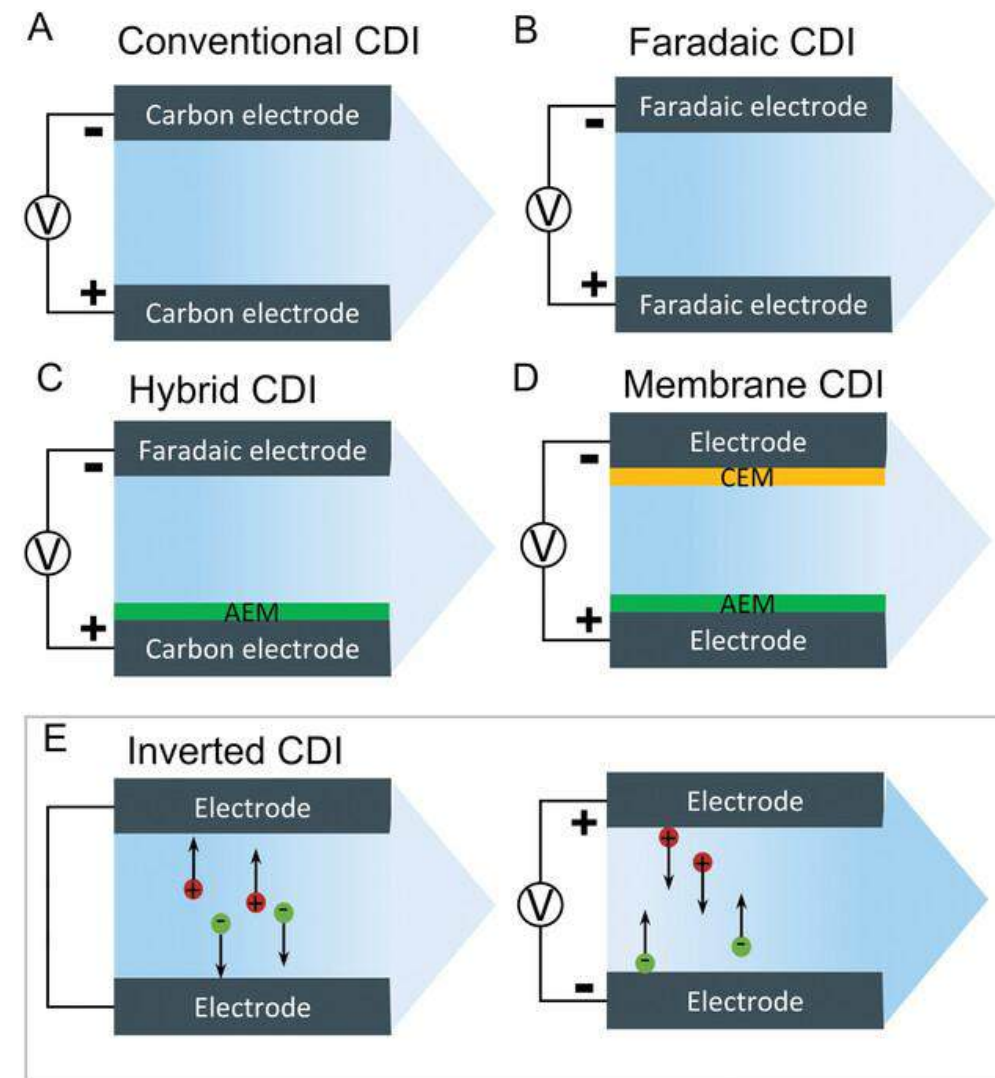
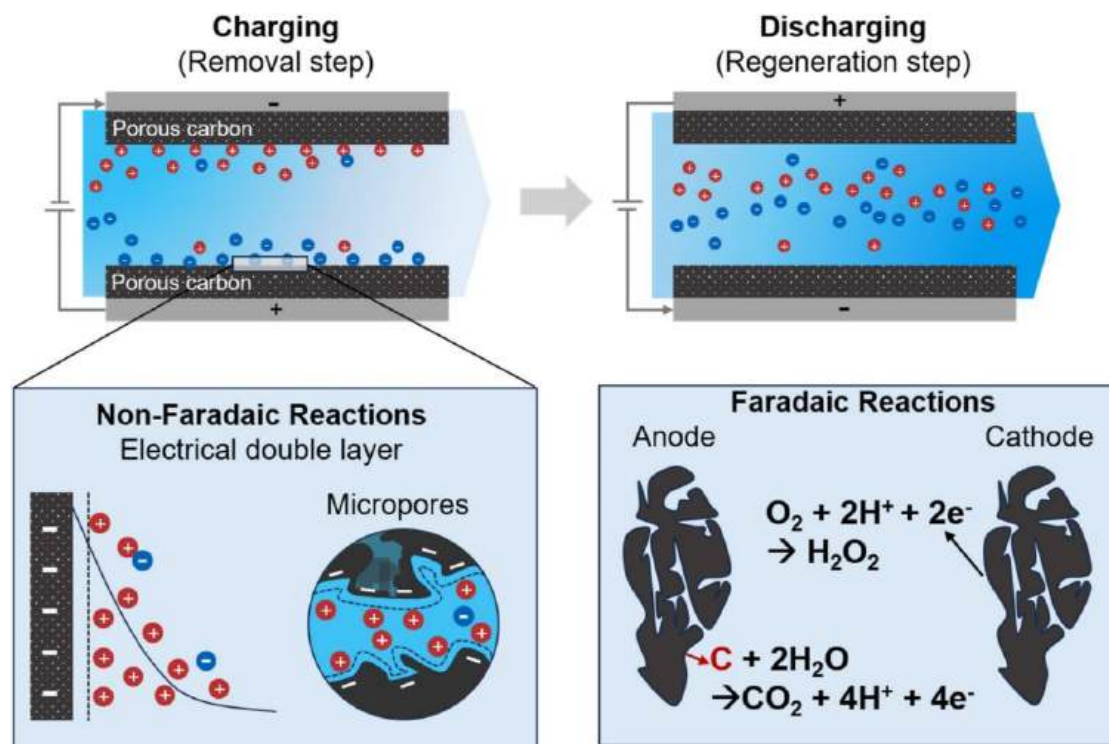
利用**電吸附**(electrosorption)程序以**多孔碳材**作為電極材料，藉由充電吸附，放電/斷電脫附循環操作，達到導電度或硬度離子含量降低目的。



# 電容去離子(capacitive deionization, CDI)

(Song et al., 2023)

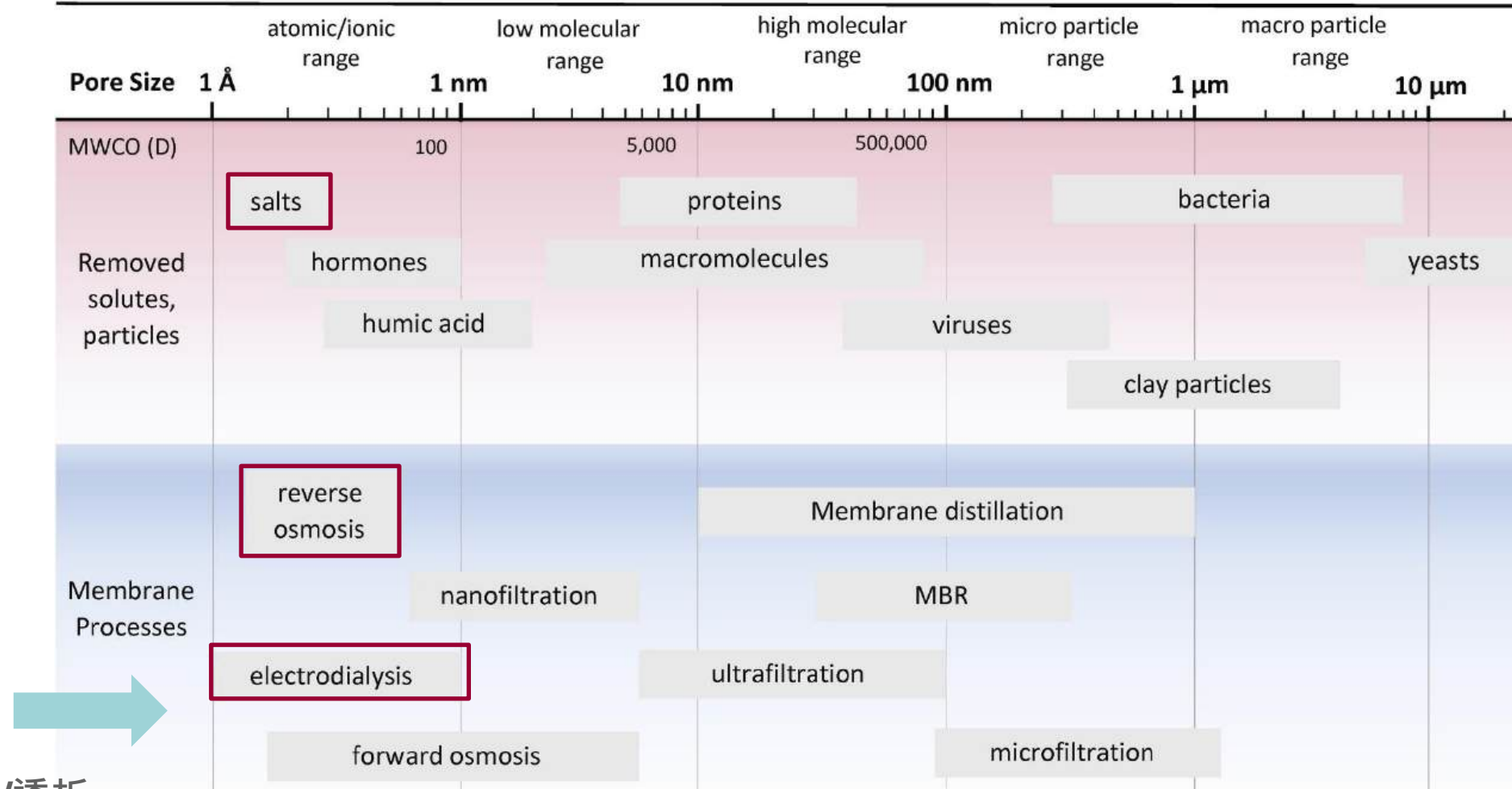
- ☑ **碳材料(活性碳、碳氣凝膠、石墨烯)**：透過電雙層(Electrical Double Layer)作用，在施加電壓時，陽極與陰極表面分別吸附陰、陽離子，達到吸附與脫附。
- ☑ **金屬氧化物材料( $\text{MnO}_2$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{TiO}_2$ )**：透過法拉第反應(Faradaic reaction)參與電化學氧化還原過程，具更高離子選擇性與容量。



# 離子分離薄膜技術

Solute filtration pore size

(Warsinger *et al.*, 2018)

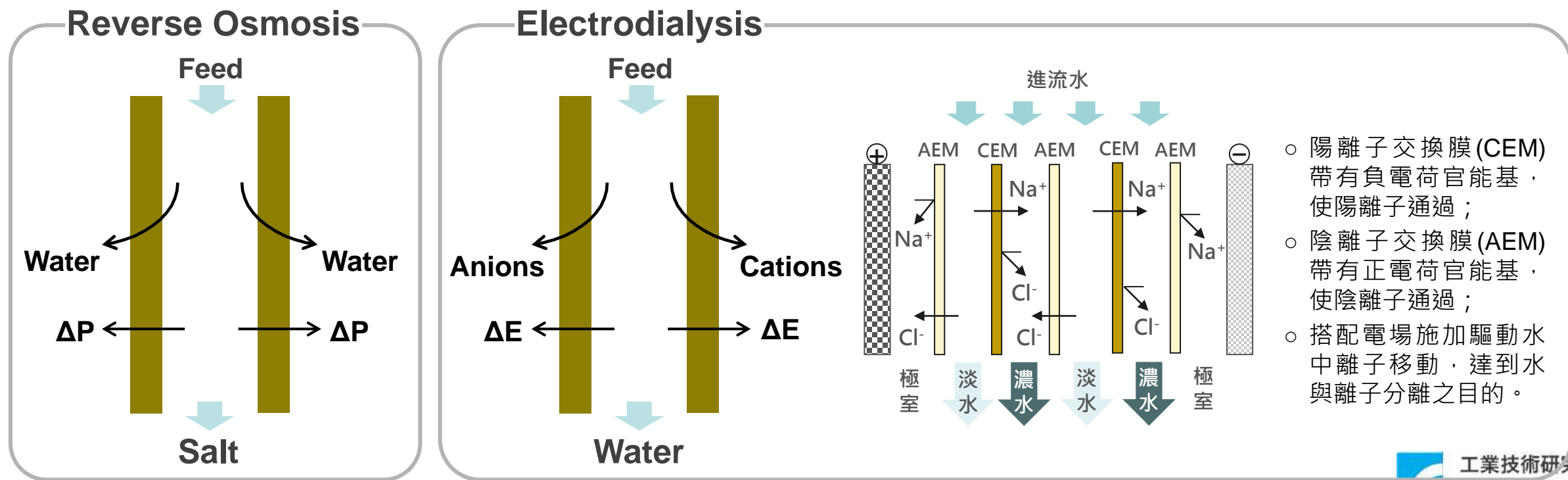


電透析/透析  
唯一能移動離子的薄膜技術

# 電透析技術(electrodialysis, ED)

電透析(electrodialysis, ED)：系統於外部施加直流電，使水溶液中離子往相反電荷的電極移動，並藉由離子交換膜控制離子行為的程序，以獲得一股濃水與淡水。

倒極式電透析(electrodialysis reversal, EDR)：藉由電極交換電流的實施，作為延長膜材使用壽命的改良技術

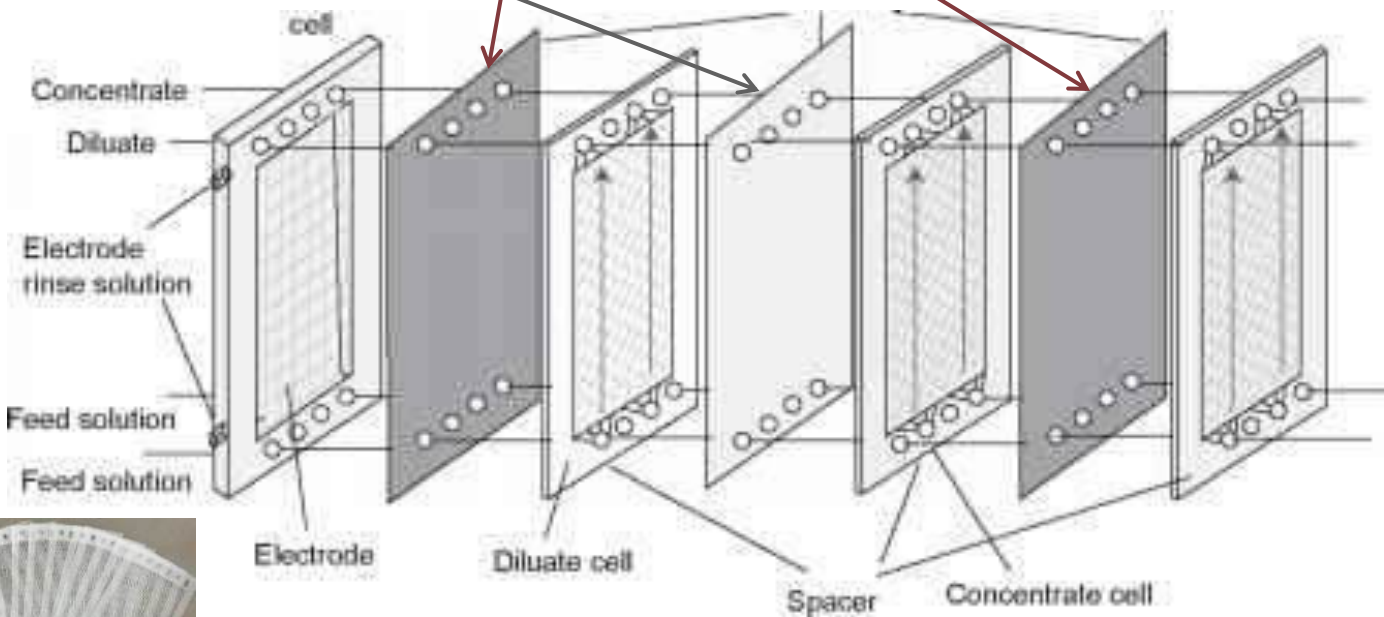




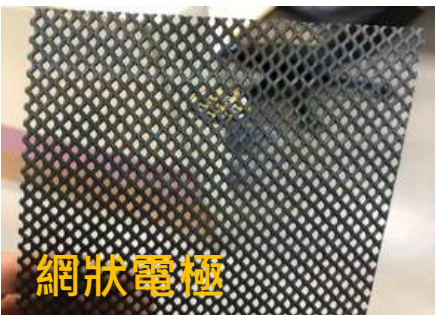
# 電透析模組組件

陽陰離子交換膜 (CEM)

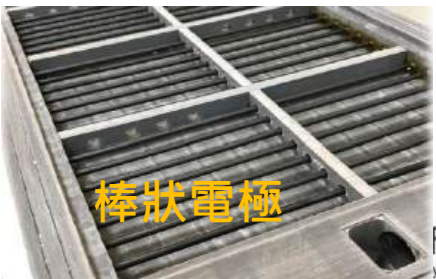
陰離子交換膜 (AEM)



電透析模組



網狀電極



棒狀電極

研究院

Research Institute

# 倒極式電透析技術優勢及應用

## EDR進流水水質建議值

Item	EDR Limits	Allowable Intermittent Levels
TDS	100 to 3,000mg/L	-
pH	2 to 10	-
Turbidity	< 0.5 NTU	2.0 NTU
SDI (5-min. test)	10	15
Iron (Fe <sup>+2</sup> )	< 0.3 mg/L	-
Mn <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup>	< 0.1 mg/L	-
H <sub>2</sub> S	< 0.1 mg/L	-
TOC	< 15mg/L	-
COD	< 50 mg/L	-
Free chlorine	0.5 mg/L	30 mg/L
Silica (reactive)	Unlimited	-
Temperature	4 to 38°C	-

## EDR技術優勢

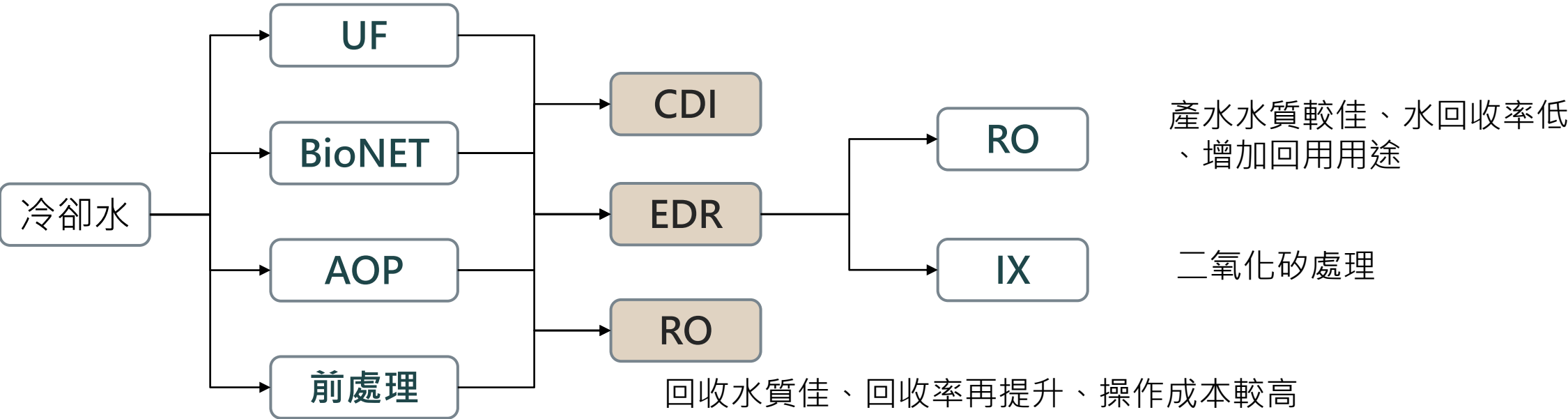
- 進水水質要求較低；
- 較傳統RO可以增加20~30%的水回收率，節省水資源；
- 切換ED模組的正負極和內部導流，能自動清洗膜面結垢；
- 進流TDS<3000 mg/L，有較低產水能耗(~1 kWh/m<sup>3</sup>)。

系 統	應 用
倒極式電透析	再生水、半鹹水脫鹽
多段式電透析	海水淡化/鹵水濃縮
雙極膜電透析	離子轉化酸鹼、廢酸鹼濃縮純化
擴散滲析	酸鹼液純化

# RO與EDR技術比較

技 術	逆滲透(RO)	倒極式電透析(EDR)
Feed TDS	< 50,000 mg/L	500~10,000 mg/L
pH	3~10	2~10
SDI	< 2~4	< 10~15
Anti-fouling (Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , CaSO <sub>4</sub> )	Poor (+ acid and scale inhibitor)	Good (need HCl cleaning)
Biological adhesion and sediment	Poor/fungicide (RO membrane resistant to Cl <sup>-</sup> )	Good/NaOCl
Membrane cleaning	Special cleaning agents with acid	HCl/NaOH
Separation mechanism	Pressure potential	Electrical potential
Flow resisted deposition	Membrane surface tangential flow velocity poor	Large membrane surface tangential flow velocity better
Water recovery	Poor (40~60%)	Good (> 60%)

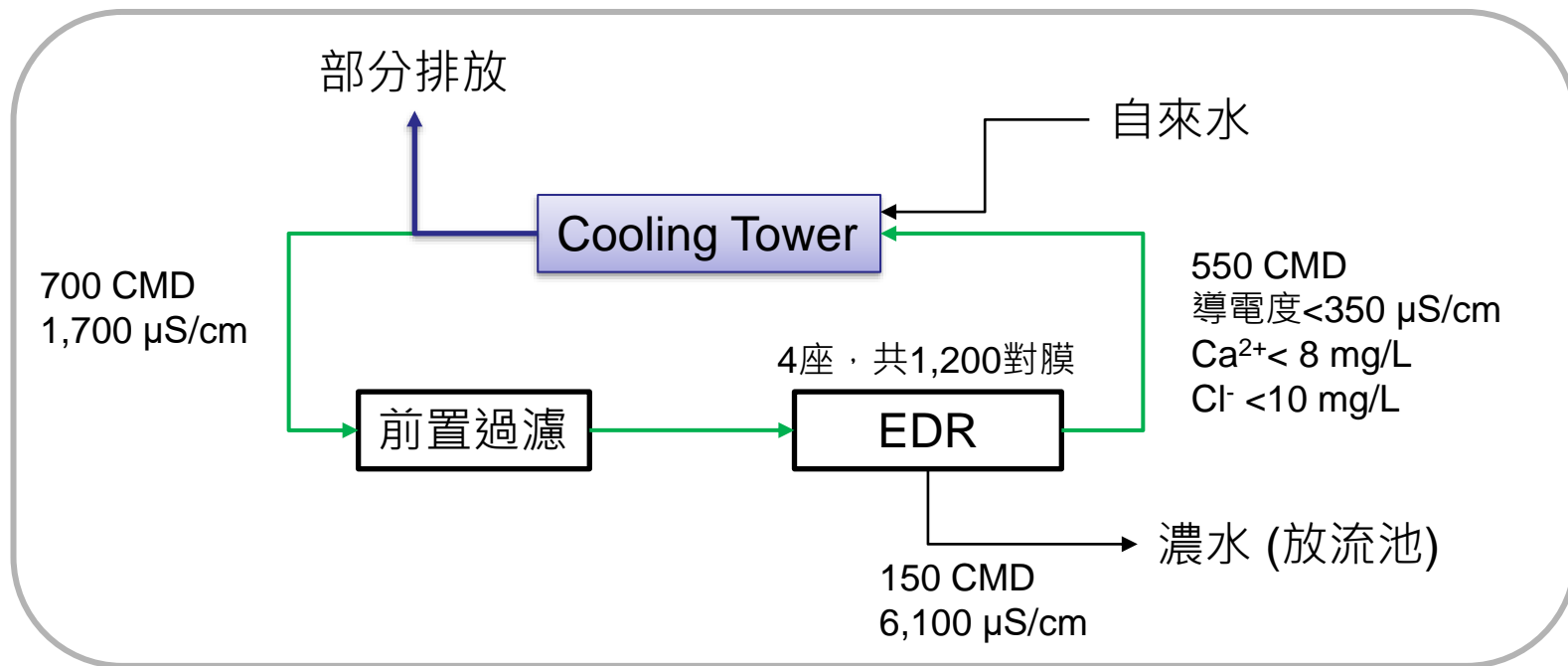
# 冷卻水回收處理程序



- ① 有機物處理
- ② 二氧化矽處理
- ③ 懸浮微粒處理

⇒ 依照冷卻排水水質及水回收用途，選擇合適的回收單元搭配規劃

# 案例說明：冷卻水塔濃排水回收再利用



鋼鐵業冷卻水塔補充水占整廠用水量>50%

- ☑ 脫鹽率80%，水回收率78%
- ☑ 減少原水用量，同時減少廢水場廢水處理量
- ☑ 減少自來水量及廢水量，每年可節省費用超過350萬元  
(枯水期節省2,150,000元+豐水期節省1,380,000元)

原水水質			
流量	:	35	m <sup>3</sup> /hr
PH	:	8.5	
電導率	:	1800	$\mu\text{S}/\text{cm}$
總硬度	:	400	mg/L
Cl <sup>-</sup>	:	280	mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	:	340	mg/L

濃水水質			
流量	:	8.5	m <sup>3</sup> /hr
PH	:	8.5	
電導率	:	6100	$\mu\text{S}/\text{cm}$
總硬度	:	1500	mg/L
Cl <sup>-</sup>	:	1100	mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	:	1000	mg/L

處理後水質			
流量	:	25	m <sup>3</sup> /hr
PH	:	5.0~7.0	
電導率	:	$\leq 350$	$\mu\text{S}/\text{cm}$
總硬度	:	$\leq 50$	mg/L
Cl <sup>-</sup>	:	$\leq 30$	mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	:	$\leq 120$	mg/L



# 案例說明：放流水回收作為冷卻補水

- ◆ 建置3000 CMD EDR水回收系統，做為冷卻水塔補水，減少自來水使用量；同時，可提升綠色企業形象，拓展國際業務。
- ◆ 放流水含高鈣與硫酸根離子，易形成結垢物，無法直接以RO進行水回收，故規劃設計倒極式電透析脫鹽系統(EDR)達成水回收之目標。



新建EDR水資源中心建築物外觀

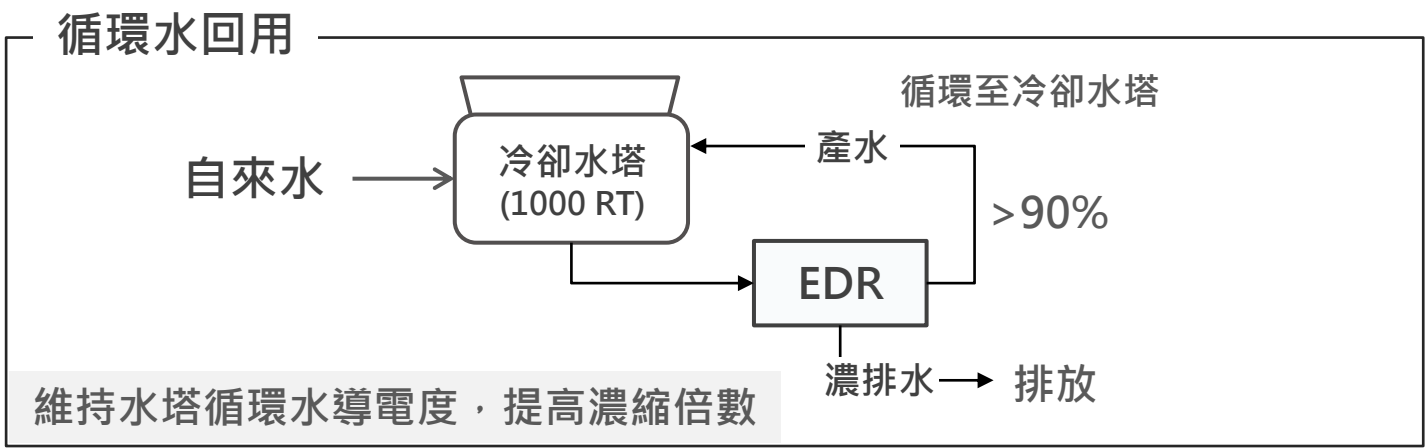
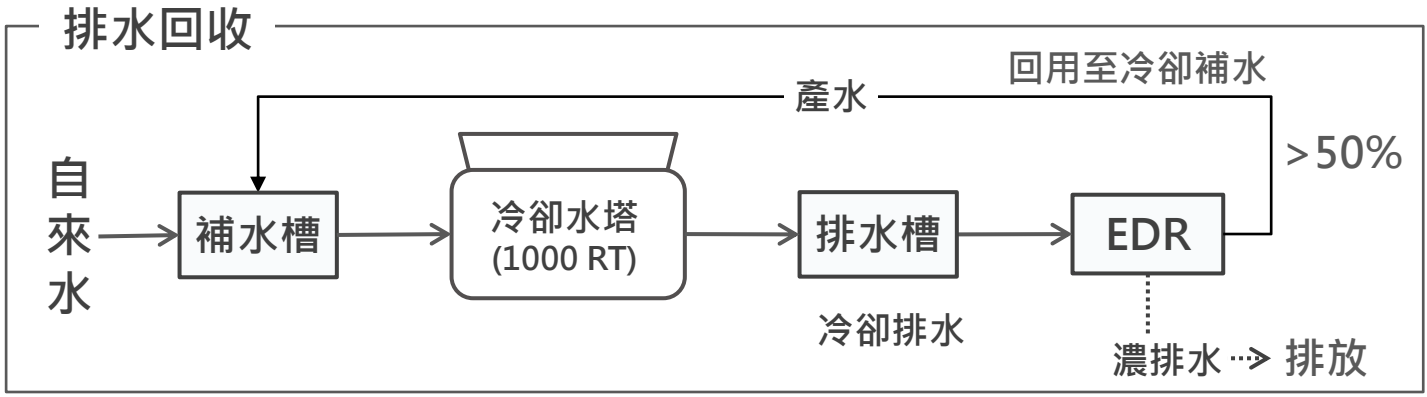


EDR水回收管線工程

Constituent	Feed	Product	Brine
Conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	4480	495	9950
$\text{Na}^+$ (mg/L)	210	48	470
$\text{K}^+$ (mg/L)	270	30	596
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	400	10	990
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	23	1	48
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	1510	137	3650
$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	20	2	38
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	450	45	1060

# 冷卻循環水回收策略：排水回收 VS 循環脫鹽

相同設定：補水量減少25 CMD (減少14%)，排水量減少25 CMD (減少50%)

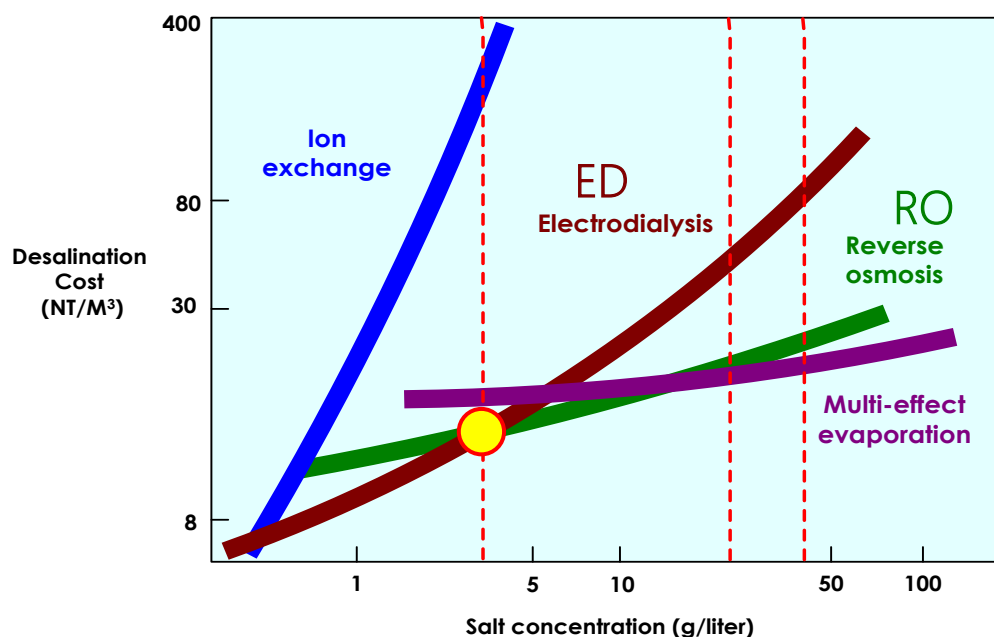


冷卻水塔：補充水量4.20萬噸/年，排水量1.02萬噸/年

策略	排水回收	循環水回用
回收目標	冷卻排水 (1,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	水塔循環水 (900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
產水水質	300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	~700 $\mu\text{S}/\text{cm}$
水回收率	> 50%	> 90%
濃縮排水	2,100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	4,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
補充水量	3.69萬噸/年 (減少12%)	3.44萬噸/年 (減少18%)
排放水量	0.51萬噸/年 (減少50%)	0.26萬噸/年 (減少75%)
抑垢劑	添加	無須添加
說明	需建置補水及排水暫存槽，對水塔本身運作無影響。	取水塔水處理再回用，有良好的系統穩定性與藥劑減量潛力

# EDR較RO更適用於冷卻循環水回收

脫鹽成本與原水濃度關係圖



Revised from  
Baker (2000) Membrane technology and applications

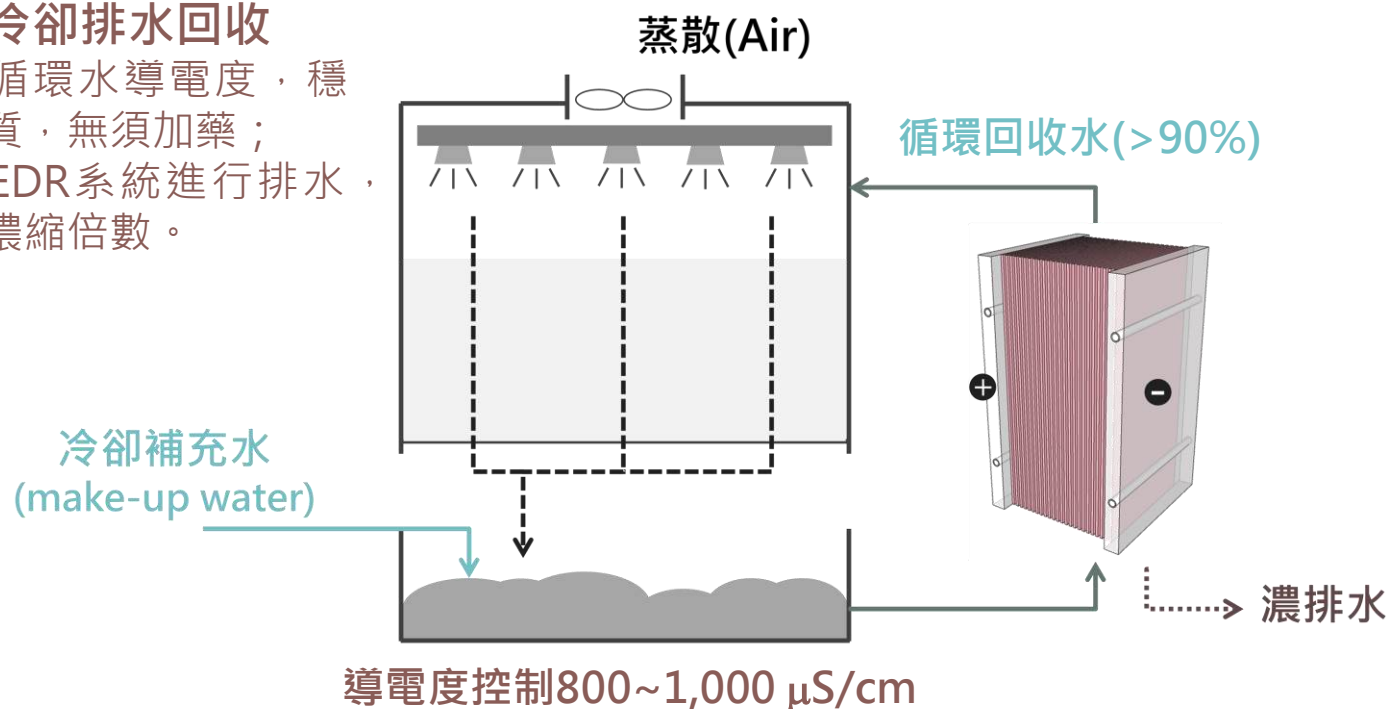
- ✓ 進水水質要求較低，通常 $SDI_5 < 15$ ，僅需很少的前處理單元
- ✓ 操作壓力低( $< 2 \text{ kg/cm}^2$ )
- ✓ 高水回收率，對地下水源可達85%以上
- ✓ 倒極時結垢物連續去除，薄膜壽命較長，通常無須抑垢劑
- ✓ 對原水中二氧化矽含量超過30 mg/L時對膜仍不會傷害
- ✓ 當水TDS 500~5000 mg/L時操作成本較離子交換樹脂與RO低

# 冷卻循環水旁流回收概念

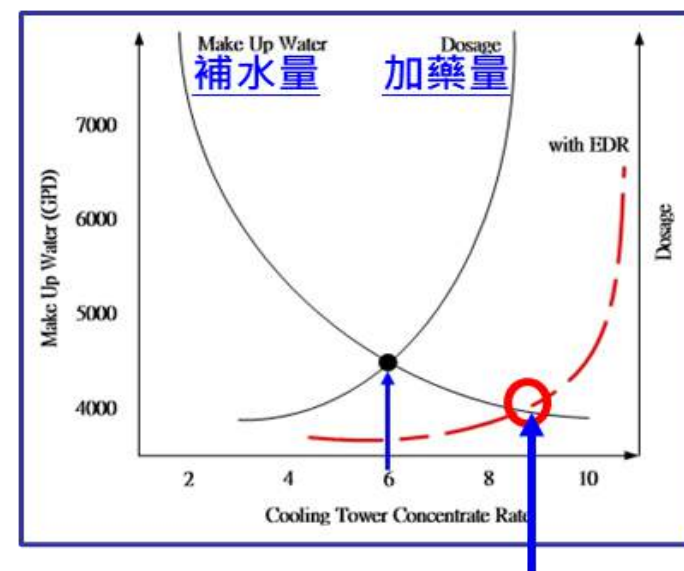
- ◆ 冷卻循環系統一般僅配置簡易過濾設備與自來水補水維護，也會加入大量抑垢及消毒劑；導入倒極式電透析(EDR)旁流處理，可維持冷卻循環水導電度，大幅減少補水量及添加藥劑。

## 相較於冷卻排水回收

- (1) 控制循環水導電度，穩定水質，無須加藥；
- (2) 改由EDR系統進行排水，提高濃縮倍數。



## 導入EDR旁流處理技術

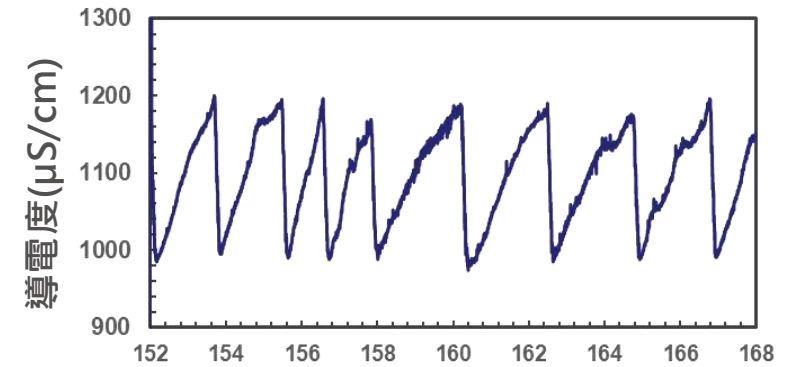
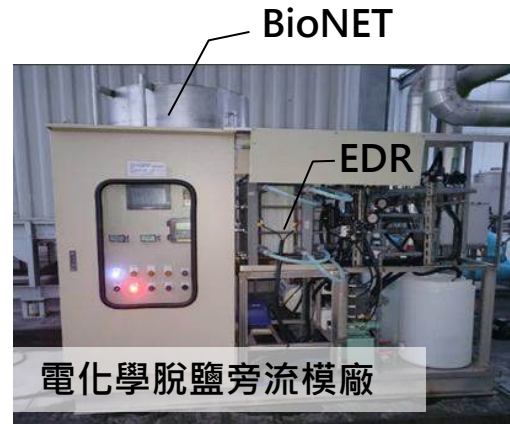


導入EDR旁流處理可將冷卻水塔最佳濃縮至9倍數，不僅能減少補水量，降低加藥量，也能降低冰水機的能耗。

# 案例說明：商辦用空調冷卻水塔

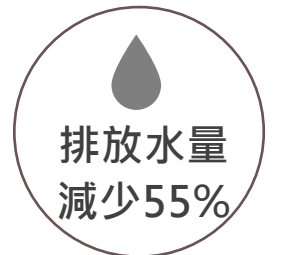
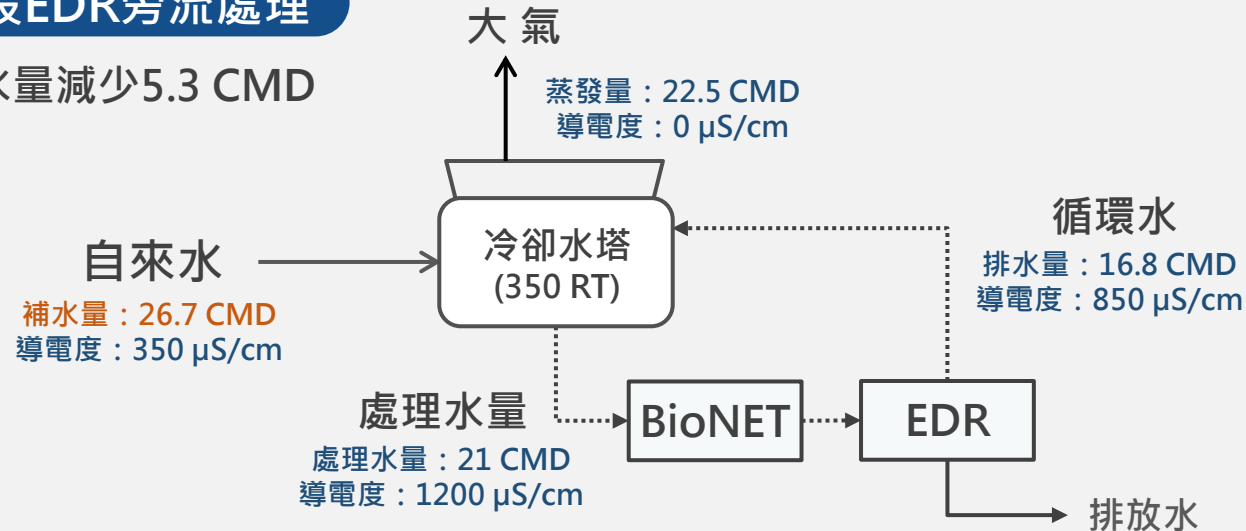
## <水塔運轉狀況說明>

- ☑ 水塔冷卻能力：350 RT
- ☑ 補水量：32 CMD，排水量：9.5 CMD
- ☑ 水塔補水由液位控制，排水由導電度控制
- ☑ 冷卻循環水導電度：1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$



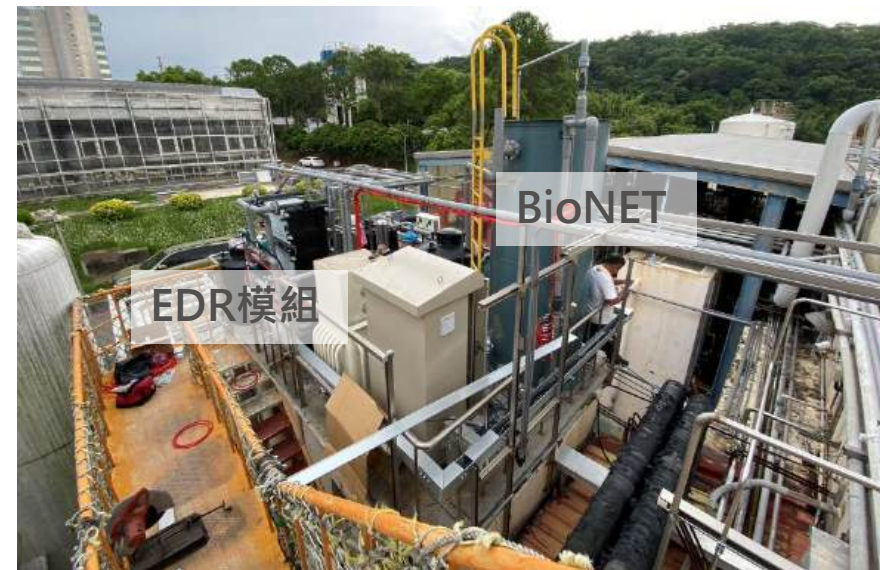
## 增設EDR旁流處理

補水量減少5.3 CMD





# 冷卻循環水旁流脫鹽案例說明



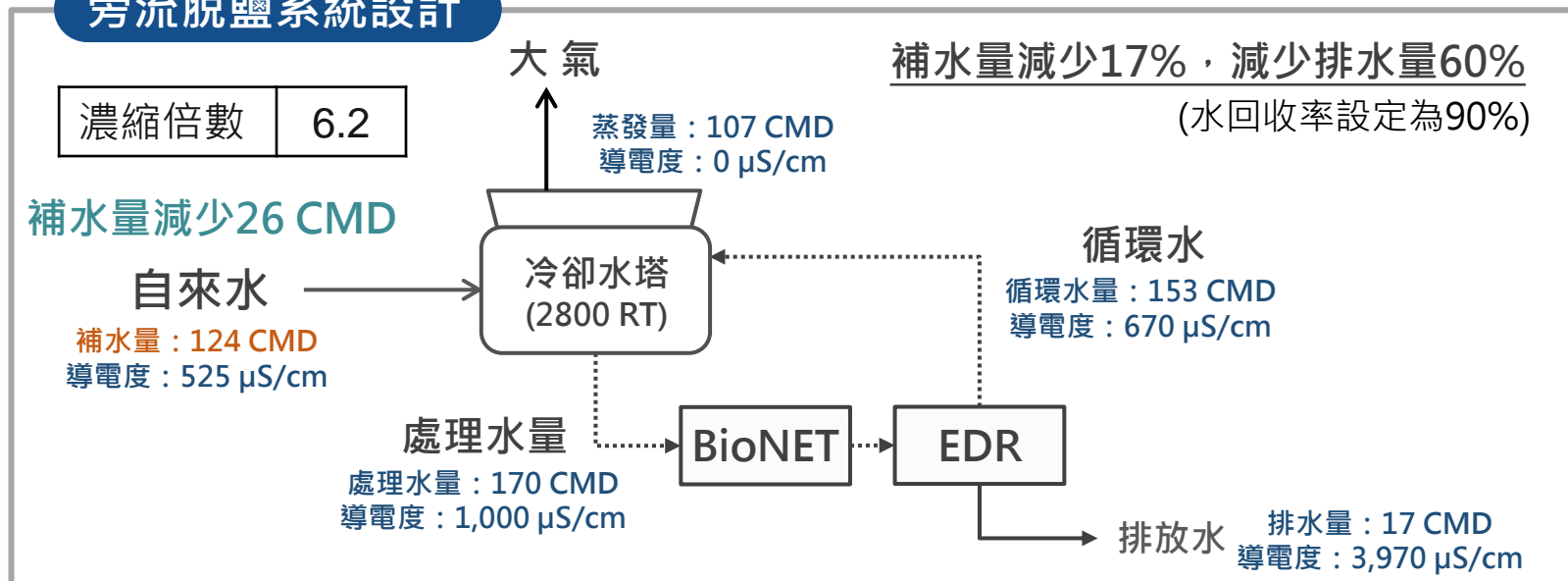
水塔規格：10座水塔(#1~6、#7~10)，2800 RT

# 某館舍冷卻水塔現況說明

補水量：150 CMD，排水量：43 CMD  
補水水源：ROR、製程回收水、自來水  
排水設定：導電度超過1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  排放

補水量：124 CMD，排水量：17 CMD  
補水水源：製程回收水、自來水、**循環水**  
排水設定：導電度超過4,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  排放  
(循環水導電度維持在800~1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

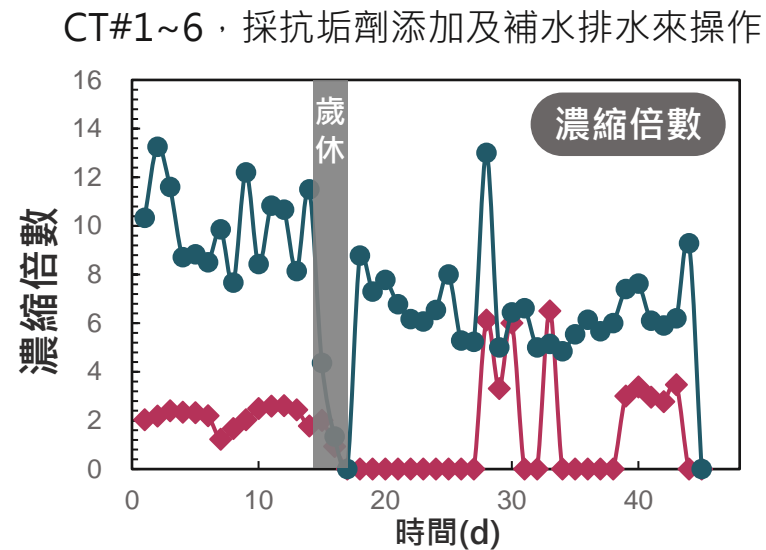
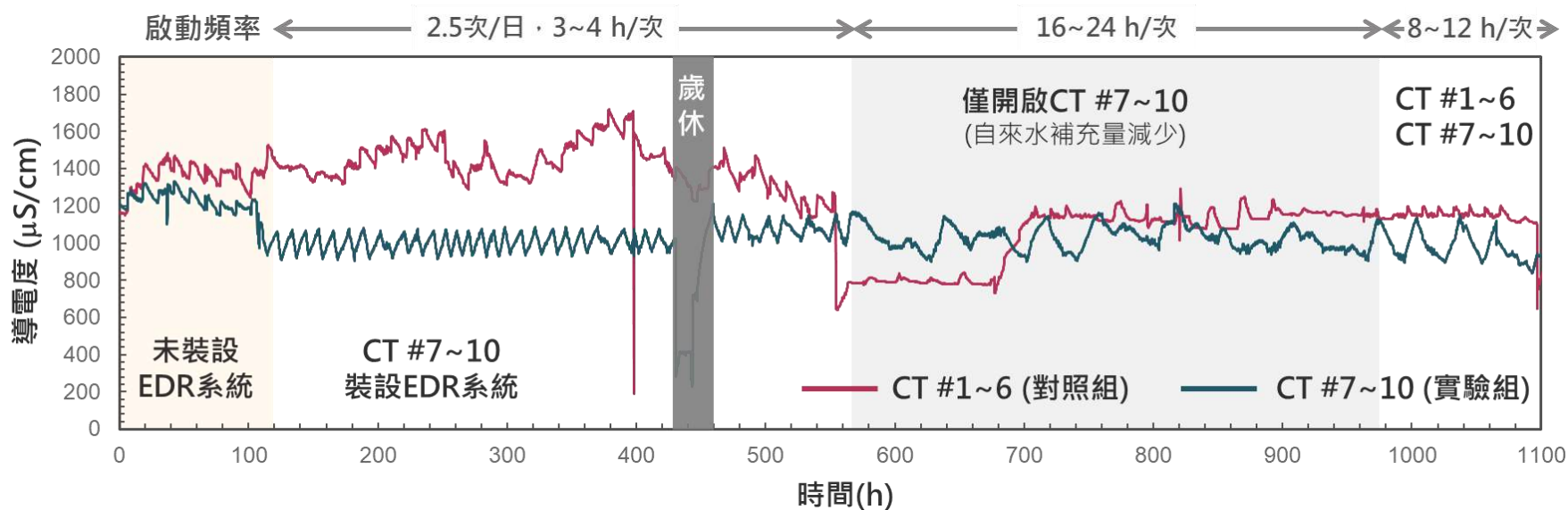
## 旁流脫鹽系統設計



- ▼ 占地面積：5.5 m × 3.5 m
- ▼ EDR模組：220對
- ▼ 膜尺寸：40 cm × 160 cm

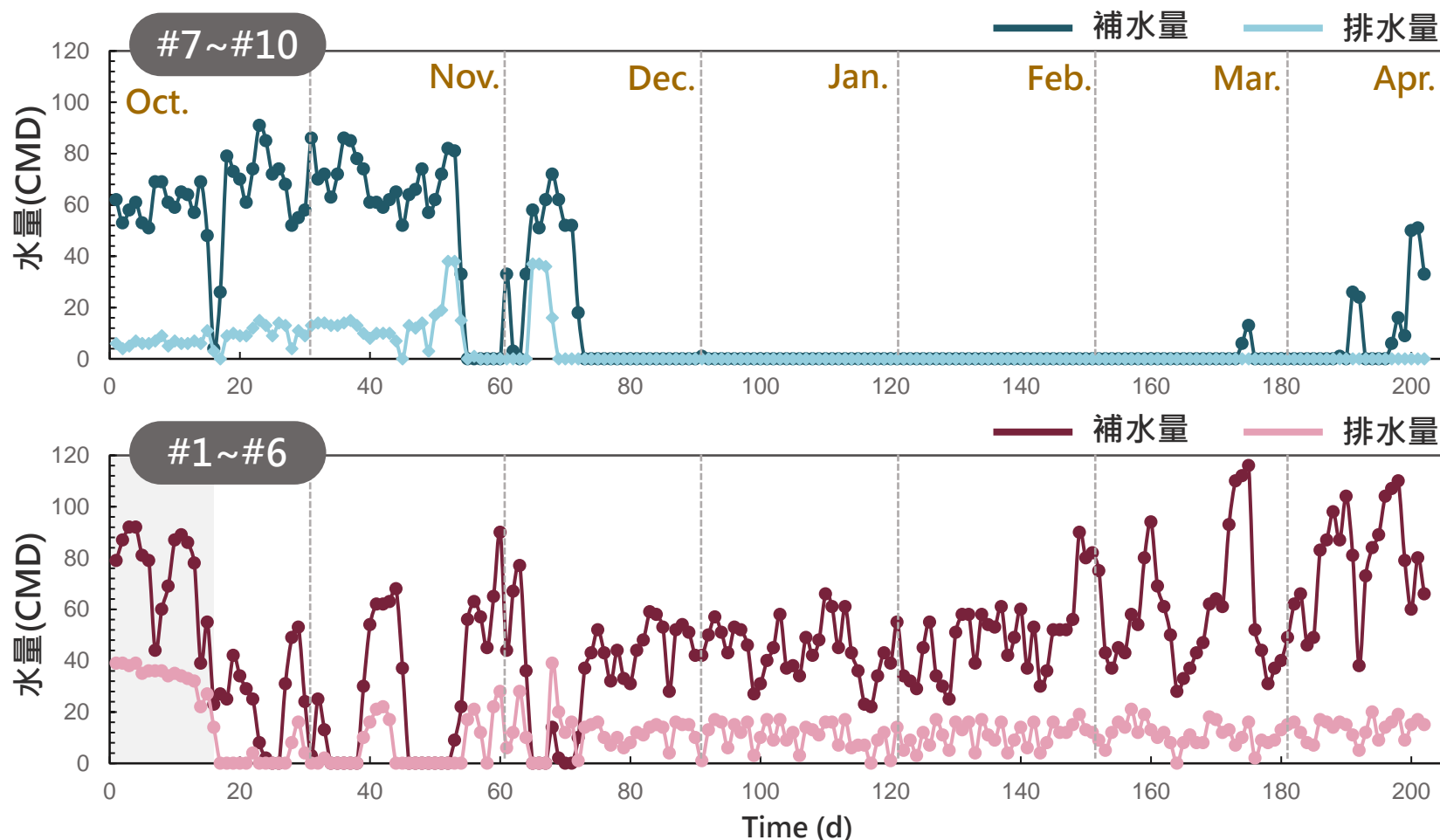
# 冷卻循環水導電度控制

#7~10水塔循環水導入旁流系統脫鹽處理後，在未加藥的情況下，循環水導電度可控制至800~1,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，濃縮倍數可由2.1倍上升至6.0~8.0倍。



系統啟動後，藥劑量減量100% (抗垢劑1,640 kg/年；殺菌劑 1,640 kg/年，費用約38萬元/年)

# 冷卻補水及排水量變化



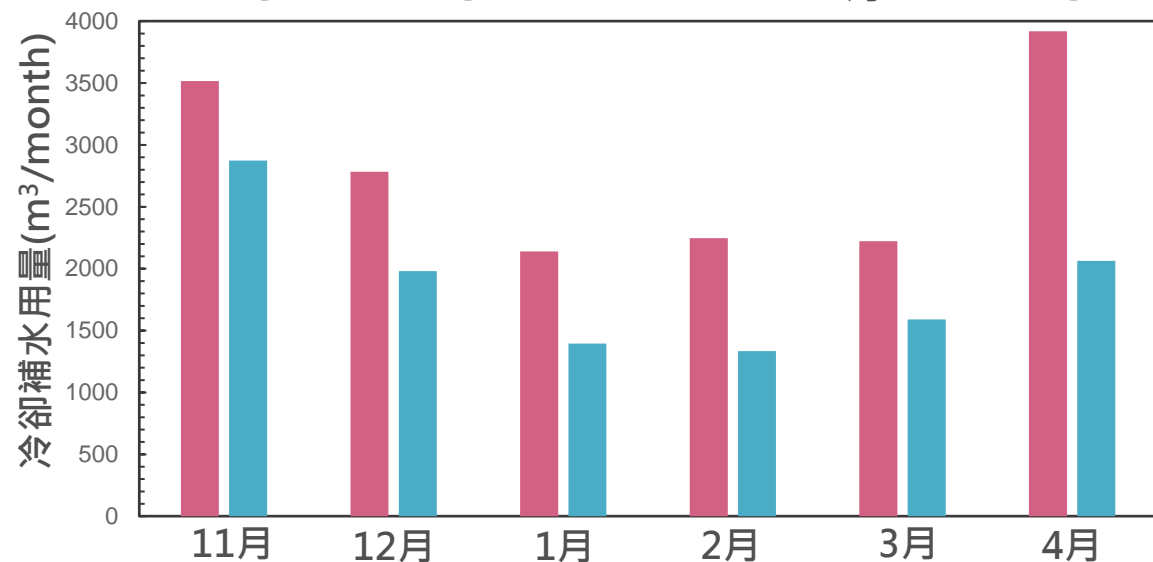
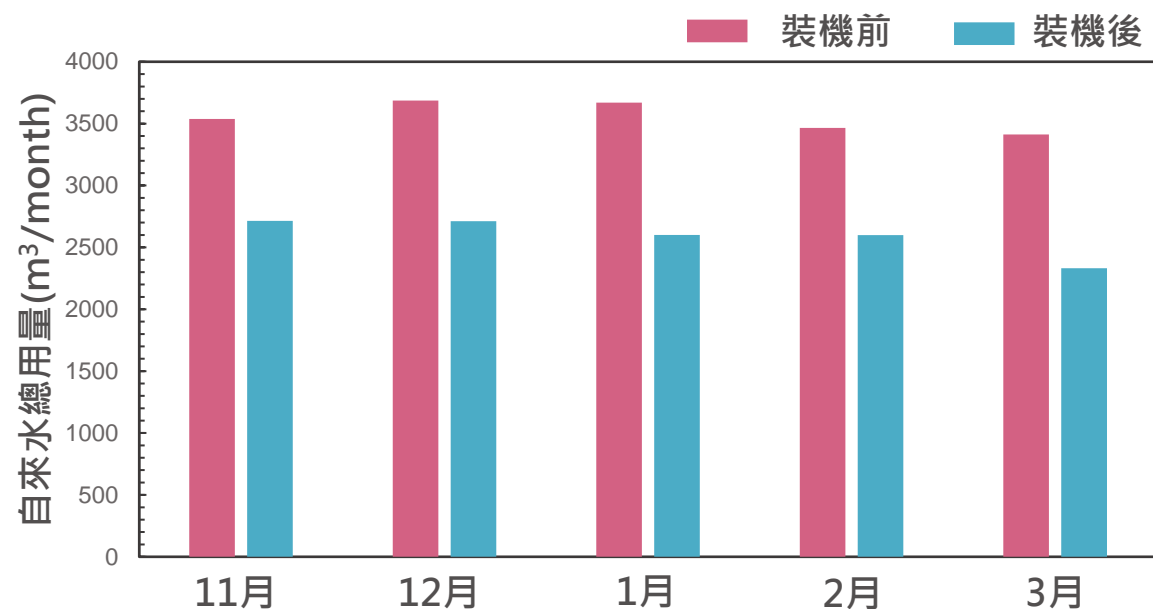
10-11月：補水量由80 CMD降至64 CMD (減少20%)，排水量由39 CMD降至9 CMD (減少77%)。

月份	補水量(CMD)	排水量(CMD)
12月	44.8	11.9
1月	43.8	10.4
2月	46.1	10.8
3月	62.3	11.3
4月	75.7	13.5

補水量由160 CMD降至128 CMD (減少補水1.16萬噸/年)；排水量由80 CMD降至20 CMD (減少排水2.19萬噸/年)



# 節水效益及水質特性說明

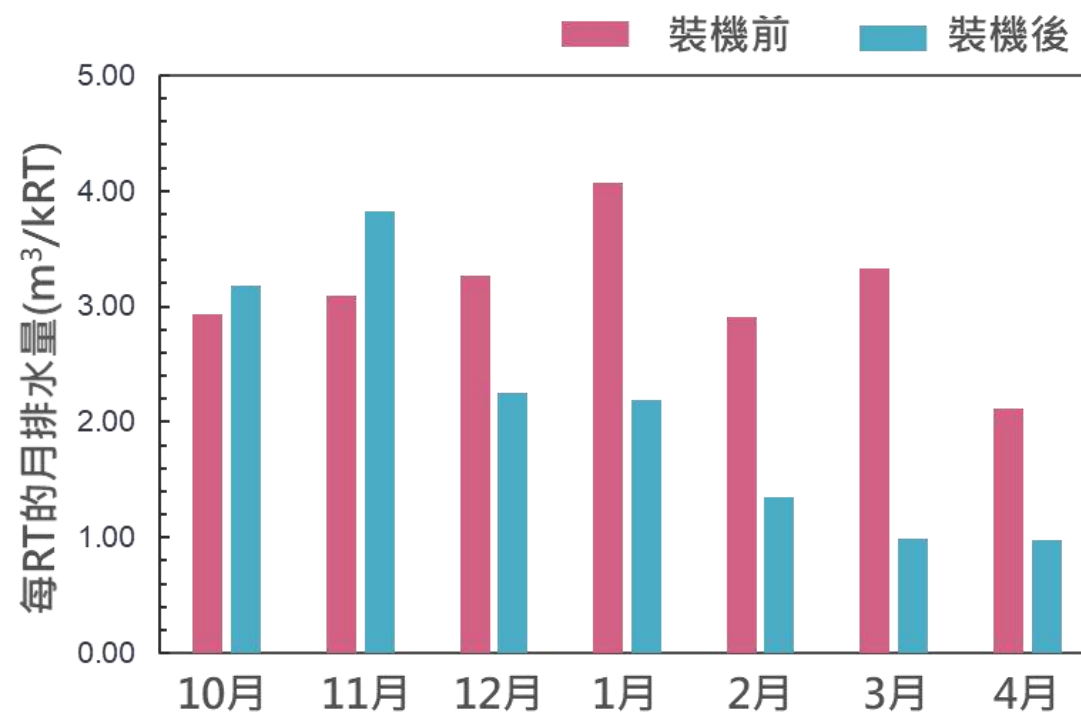
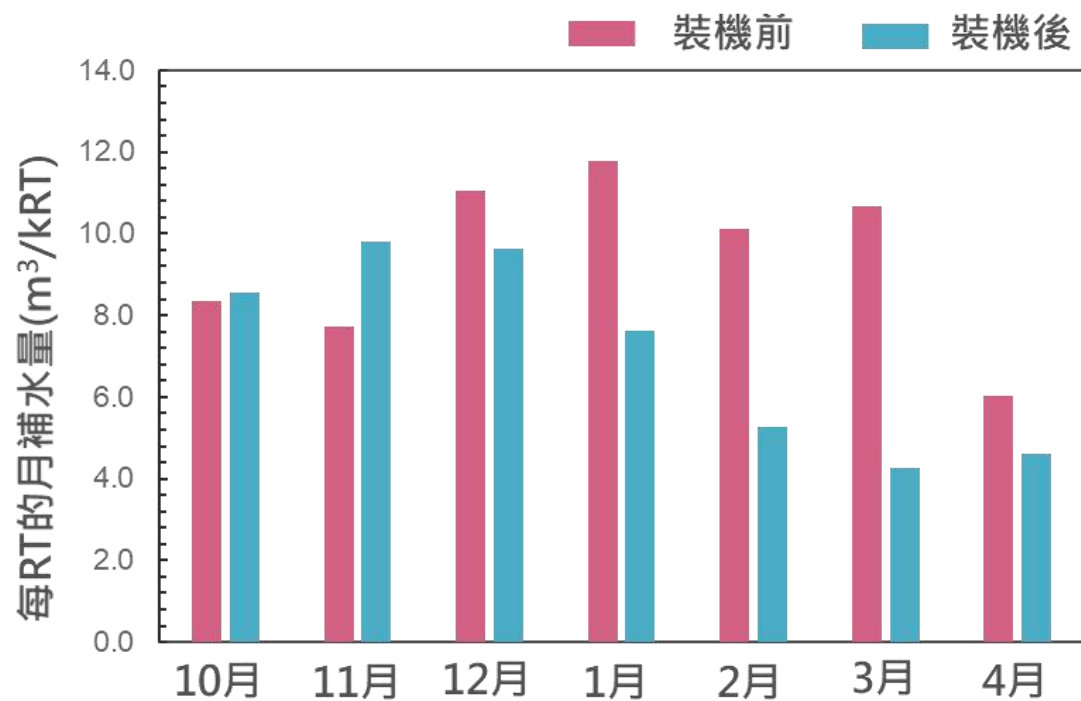


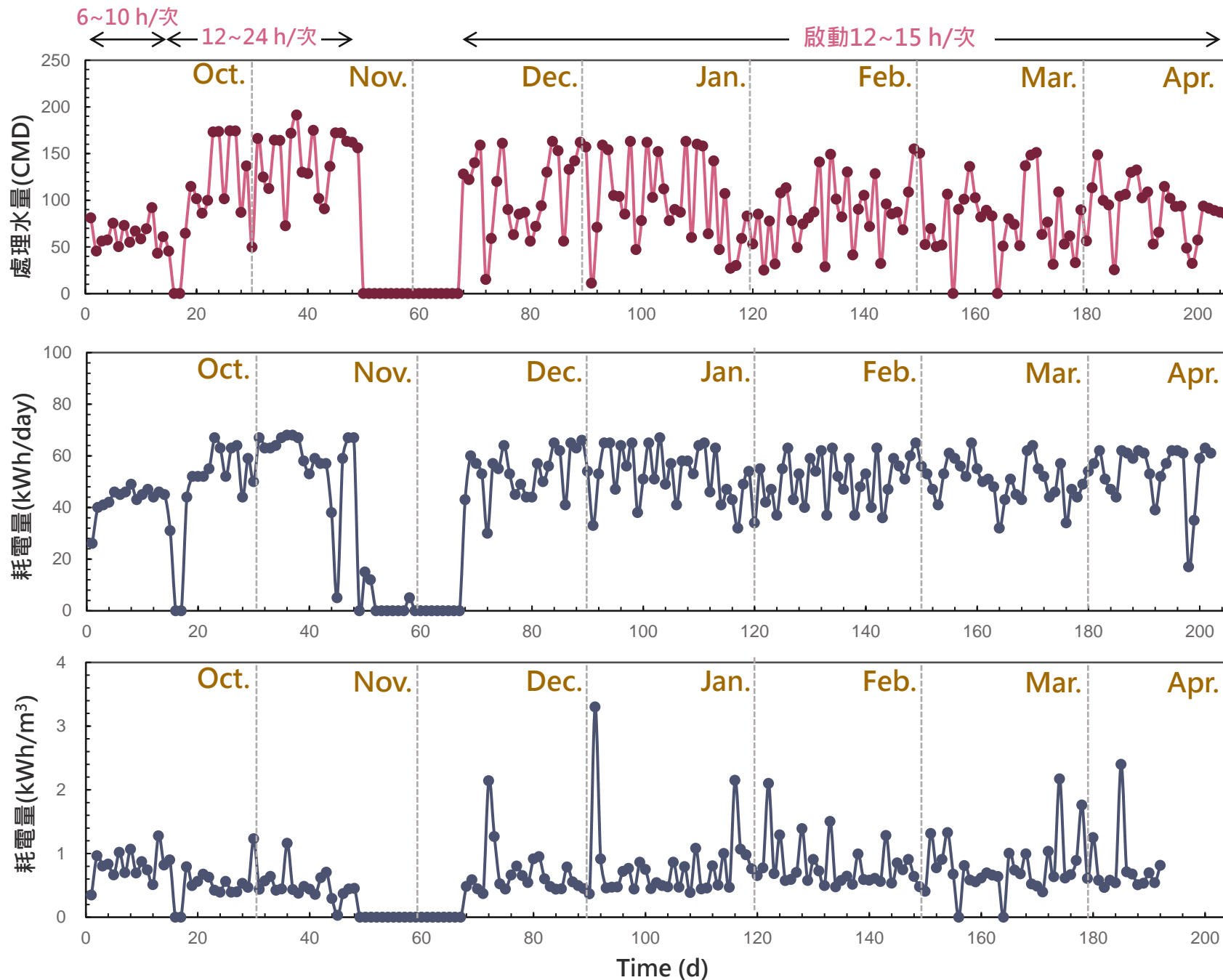
7~10號水塔	SPEC.	未裝設系統	裝設系統
pH	7.5~9.5	8.1±0.1	8.0
導電度(μS/cm)	< 1500	1253±198	927
鹼度(mg/L)	< 300	186±34.5	125
總硬度(mg/L)	< 600	435±112	270
全鐵(mg/L)	< 0.50	0.2±0.1	0.08
總菌數CFU/mL	< 20×10 <sup>4</sup>	7×10 <sup>4</sup> ±3.6×10 <sup>4</sup>	1.0×10 <sup>5</sup>
藥劑濃度(mg/L)	5~10	6.3±1.2	5.0
全銅(mg/L)	< 0.30	0.1±0.0	0.13
藍氏飽和指數(LSI)	0.20 ~ 2.50	0.9±0.2	0.52

使用單位提供：  
冷卻水塔補水量每月減少643~1856 m<sup>3</sup>/月；  
自來水總用量每月減少824 ~1080 m<sup>3</sup>/月。



# 冷卻效率基準水量比較(以千冷凍噸為基準)



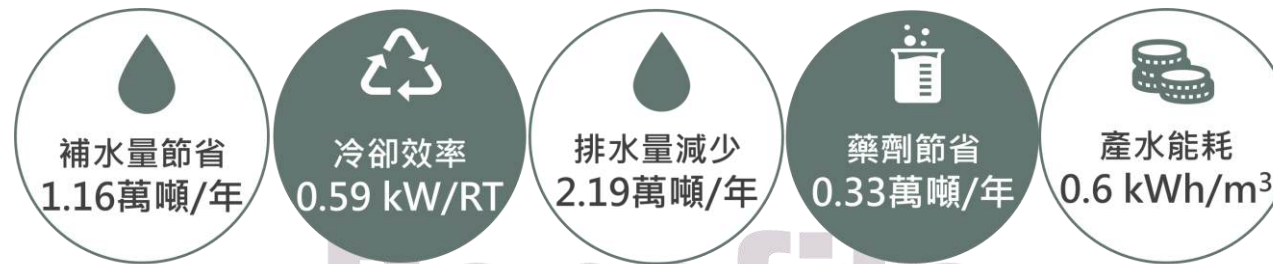


## 系統處理水量 及產水能耗

月份	耗電量 (kWh/day)	產水能耗 (kWh/m³)
10月	47.8	0.70
11月	56.1	0.54
12月	55.1	0.65
1月	52.5	0.79
2月	50.6	0.82
3月	51.0	0.63
4月	54.0	0.84

# 水回收及藥劑減量效益總結

	原冷卻水塔	冷卻循環水回收系統啟動
導電度	>1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	800~1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
補水量	9.4 $\text{m}^3/\text{kRT}\cdot\text{月}$	7.1 $\text{m}^3/\text{kRT}\cdot\text{月}$
排水量	3.1 $\text{m}^3/\text{kRT}\cdot\text{月}$	2.1 $\text{m}^3/\text{kRT}\cdot\text{月}$ (水塔不排水，由EDR濃水控制排水)
抗垢劑	1650 $\text{kg}/\text{年}$	0 $\text{kg}/\text{年}$
殺菌劑	1650 $\text{kg}/\text{年}$	0 $\text{kg}/\text{年}$
冰機冷卻效率	0.62 $\text{kW}/\text{RT}$	0.59 $\text{kW}/\text{RT}$



Benefits

## 結 論

- ◆ **冷卻循環水或排水**具有較高的回收效益(成本&水量)：
  - ⇒ 冷卻水塔補水量占**工業用水量~50%**；
  - ⇒ 水質相對其他製程排水單純，以**導電度及硬度**處理為主；
- ◆ 冷卻水回收策略除了冷卻排水回收外，也能直接藉由冷卻水循環處理，**控制循環水導電度**，達到水質穩定、補排水減量及抑垢藥劑減量功效。
- ◆ 面對水資源緊縮與政策推動，冷卻水回收是企業落實節水與環保策略選項，提升循環使用率，不僅節省用水成本，更強化永續競爭力。





# Water Recycling

冷卻循環水回收技術應用

DRIVING SUSTAINABILITY FORWARD

趙淑如 博士

材料與化工研究所 水科技研究組  
shujuchao@itri.org.tw